

Луцький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)  
Факультет аграрних технологій та екології  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))  
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу перевезення бульб картоплі з розробкою самоскидного напівпричепа»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм - 21  
спеціальності 208 Агроінженерія  
за освітньо-професійною  
програмою «Агроінженерія»

Площинський Р.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Хомич С.М.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Хомич С.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Панасюк С.Г.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2025

**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет	<i>аграрних технологій та екології</i>
Кафедра	<i>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</i>
Галузь знань	<i>20 Аграрні науки та продовольство</i>
Освітній ступінь	<i>магістр</i>
Спеціальність	<i>208 Агроінженерія</i>
Освітньо-професійна програма	<i>Агроінженерія</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри аграрної інженерії  
ім. проф. Г.А.Хайліса

доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_ С.М. Хомич  
«01» липня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Площинському Роману Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу перевезення бульб картоплі з розробкою самоскидного напівпричепа

керівник роботи Хомич Сергій Миколайович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом ЛНТУ від «01» липня 2025 р. № 459/01-07

2. Термін здачі студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки

## 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

	к-сть листів
1. Вихідні дані .....	1 лист
2. Теоретичні положення .....	1 лист
3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4. Результати експериментальних досліджень	1 лист
5. Планування та результати експерименту з використанням математичного методу планування	1 лист
6. Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова)	1 лист
7. Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	1 лист

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	01.07. – 16.07.2025 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	20.08 – 31.08.2025 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2025 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2025 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2025 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2025 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2025 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2025 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2025 р.	
10	Нормоконтроль	до 04.12.2025 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	04.12.– 14.12.2025 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Площинський Р.А.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Хомич С.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

\_\_\_\_\_ (підпис)

Хомич С.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена дослідженню транспортування (перевезенню) бульб картоплі.

У роботі представлені дослідження і теоретичні розрахунки процесів, які виникають при транспортуванні (перевезенні), завантажуванні (вивантажуванні) бульб і експериментальні дослідження для визначення конструктивних та технологічних параметрів напівпричепа.

Пояснювальна записка містить відомості про призначення та принцип роботи машин-аналогів. На основі відмінностей та удосконалень яких, запропоновано оновлену конструкцію напівпричепа і представлено його опис. Представлені відомості про технологічний процес роботи машини та властивості технологічного матеріалу, що обробляється. Наведена функціональна схема машини та обґрунтований технологічний процес її роботи.

У роботі представлені методики досліджень та проведені дослідження по визначенню фізико-механічних властивостей бульб картоплі. Виконані дослідженні щодо моделювання процесу насипного переміщення бульб та теоретичні обґрунтування математичного моделювання процесу сепарації.

Проведені експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування експерименту та подані висновки та запропонована удосконалена технологія вирощування бульб картоплі.

*Ключові слова: бульби, картопля, машина, переміщення насипання, вивантаження, напівпричіп, транспортування, тертя, кочення.*

## ABSTRACT

The master's qualification work is devoted to the study of the transportation (transportation) of potato tubers.

The work presents research and theoretical calculations of the processes that occur during transportation (transportation), loading (unloading) of tubers and experimental studies to determine the design and technological parameters of the semi-trailer.

The explanatory note contains information on the purpose and principle of operation of similar machines. Based on the differences and improvements of which, an updated design of the semi-trailer is proposed and its description is presented. Information is presented on the technological process of the machine and the properties of the technological material being processed. The functional diagram of the machine and the substantiated technological process of its operation are given.

The work presents research methods and conducted research to determine the physical and mechanical properties of potato tubers. Research has been carried out on modeling the process of bulk movement of tubers and theoretical justifications for mathematical modeling of the separation process.

Experimental studies were conducted using the mathematical method of experimental design, and conclusions were presented and an improved technology for growing potato tubers was proposed.

Keywords: tubers, potatoes, machine, moving, filling, unloading, semi-trailer, transportation, friction, rolling.

## ЗМІСТ

Анотація.....	2
Зміст.....	4
Вступ.....	6
1 Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень .....	10
1.1 Характеристики оброблюваного матеріалу та технологічного процесу.....	10
1.1.1 Властивості оброблюваного матеріалу.....	10
1.1.2 Характеристики технологічного процесу роботи однорядної картоплекопалки.....	11
1.2 Аналіз існуючих конструкцій машин та робочих органів, що вдосконалюються.....	14
1.3 Огляд теоретичних досліджень.....	15
1.4 Обґрунтування вихідних даних.....	17
1.5 Висновки до розділу 1 і задачі досліджень.....	18
2 Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження.....	19
2.1 Обґрунтування технологічного процесу та розробка схем машини .....	19
2.2 Розробка принципової схеми.....	20
2.3 Розробка конструкції складальних одиниць і деталей .....	21
2.4 Обґрунтування процесу переміщення волоху бульб на пухирцподібній поверхні.....	24
2.5 Висновки до розділу 2.....	30
3 Програма, методика і результати експериментальних досліджень.....	31
3.1 Вибір напрямку дослідження.....	31
3.2 Дослідження коефіцієнтів тертя кочення та ковзання бульб картоплі... ..	32
3.3 Методика визначення засміченості вороху бульб картоплі.....	35
3.4 Результати дослідження визначення засміченості вороху бульб.....	36
3.5 Методика визначення пошкодження насінневого матеріалу внаслідок	

контакту із робочою поверхнею.....	36
3.6. Висновки до розділу 3.....	39
4 Рекомендації з експлуатації машини.....	40
4.1 Організація процесів підготовки матеріалів до перевезення.....	40
4.2 Заходи по підготовці машини до роботи і порядок роботи.....	41
4.2.1 Експлуатаційні вимоги.....	41
4.2.2 Комплектувальні вимоги.....	42
4.2.3 Керування роботою машини.....	42
4.2.4 Система регулювання керування та управління.....	43
4.2.5 Технічні особливості машини.....	44
4.2.6 Правила експлуатації машини.....	44
4.2.7 Підготовка МТА до роботи.....	45
4.2.8 Організація роботи на майданчику.....	46
4.3 Порядок роботи.....	47
4.4 Організація технічного обслуговування.....	47
4.4.1 Види технічного обслуговування.....	47
4.4.2 Розрахунок кількості ремонтів і технічних обслуговувань, та визначення річної трудомісткості робіт по технічному обслуговуванні.....	49
4.4.3 Розробка правил технічного обслуговування машини.....	50
4.4.3.1 Щозмінне технічне обслуговування.....	51
4.4.3.2 Технічне обслуговування № 1 (ТО-1).....	52
4.4.3.3 Технічне обслуговування № 2 (ТО-2).....	52
4.4.3.4 Технічне обслуговування № 3 (ТО-3).....	53
Загальні висновки.....	54
Перелік джерел посилань.....	55
Додатки.....	57

## ВСТУП

В Україні картопля є однією з найважливіших харчових культур. Її вирощують по всій території країни, у всіх ґрунтово-кліматичних зонах. Річний обсяг виробництва картоплі в останні роки досягає 20-23 мільйонів тонн.

За загальним обсягом виробництва картоплі Україна входить до п'ятірки світових лідерів. Проте, її врожайність залишається порівняно невисокою – 16,6 т/га (станом на 2016 рік), незважаючи на те, що потенціал сучасних сортів значно вищий (до 320-330 т/га).

Ключовим фактором для досягнення високих урожаїв картоплі є використання якісного насіннєвого матеріалу сортів, які добре пристосовані до місцевих ґрунтово-кліматичних умов. Це, за інших рівних обставин, може збільшити врожайність до 25%, а при застосуванні нових сортів – від 20 до 40%.

При цьому, важливе значення в картоплярстві має широке сортове різноманіття. Наприклад, станом на квітень 2017 року, Державний реєстр сортів рослин України включав 160 сортів картоплі, дозволених для вирощування. Саме ці сорти, відповідно до чинного законодавства, є основою для насінницької діяльності.

Отже, одним із нагальних завдань для повного розкриття потенціалу сорту є визначення його здатності до адаптації та обсягу врожаю насіннєвих бульб при вирощуванні в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах, з метою подальшого включення їх у насінницький процес.

Використання високоякісного насіннєвого матеріалу досліджуваних сортів у виробництві дасть змогу максимально розкрити їхній генетичний потенціал та забезпечити стабільність урожайності картоплі і виходу насіннєвих бульб. Крім того, важливо розробити критерії для виявлення сортів із високою адаптивною здатністю, ґрунтуючись на якісних та кількісних показниках, з метою їх подальшого включення до насінницької

програми. Ці дослідження є актуальними для галузі картоплярства, як з наукової, так і з практичної точки зору, що і зумовило вибір теми цієї роботи.

Враховуючи вищезазначене та зміни клімату в регіоні Полісся, дослідження було зосереджено на вивченні питань транспортування бульб картоплі під час посадки та під час збирання, щоб максимально унеможливити пошкодження і травмування бульб під час додаткових перевалочних операцій. Це особливо критично для високоякісного насіннєвого матеріалу, який необхідно зберігати протягом зимового періоду.

**Актуальність теми.** В Україні вирощування картоплі зосереджено переважно у невеликих та приватних господарствах, де середня врожайність сягає 13 тонн з гектара. Одним з основних шляхів збільшення обсягів виробництва картоплі є розробка системних методів захисту культури від хвороб та шкідників, які можуть призводити до втрат урожаю від 30 до 50 %.

Загалом картопля може уражатися більш ніж 50 різними видами шкідливих організмів (грибковими, бактеріальними, вірусними, нематодними тощо). Це спричиняє зниження кількості та якості врожаю, що, своєю чергою, веде до значних втрат бульб під час їхнього зберігання.

Для досягнення високих і стабільних врожаїв картоплі вкрай важливим є вчасне збирання бульб, тобто викопування їх у визначені агрономічні терміни. Великих втрат виробництву картоплі завдають пошкодження під час копання, механічні втрати, та пошкодження під час транспортування, вивантажування, завантажування, як під час садіння і збирання так і під час зберігання.

Тому створення спеціалізованих машин для насипного перевезення та насипного вивантаження з унеможливленням наведених недоліків є актуальним і своєчасним.

**Наукове та практичне значення.** На базі теоретичних і експериментальних досліджень розроблено і виготовлено експериментальний зразок елемента кузовного напівпричепи, який дозволив провести дослідження навантаження-розвантаження і перевезення бульб картоплі. Дане обладнання використовується у навчальному процесі ЛНТУ.

Матеріали дослідження розміщені у збірниках студентських наукових праць.

**Об'єкт дослідження** – процес переміщення та насипання бульб картоплі з використанням композитної поверхні.

**Предмет дослідження** – встановлення взаємозв'язку між параметрами композитної поверхні та ефективністю її роботи у складі напівпричепи і дослідження фізико-механічних властивостей бульб.

**Мета роботи і завдання дослідження.** Мета дослідження – підвищення ефективності збереження бульб картоплі та унеможливлення їх пошкоджень при насипанні і транспортуванні шляхом застосування пухирцеподібної композитної поверхні самоскидного напівпричепи.

Для досягнення поставленої мети було необхідно виконати такі завдання:

- провести аналіз відомих машин і технологічних процесів переміщення (транспортування, насипання) бульб та на цій основі розробити теоретичні передумови проектування нової машини для перевезення з урахуванням недоліків аналогів;
- обґрунтувати конструктивну схему та технологічний процес роботи напівпричепи з пухирцеподібною поверхнею кузовних елементів;
- розробити математичну модель процесу переміщення бульб на пухирцеподібній поверхні;
- розробити відповідне оснащення для дослідження процесу переміщення бульб картоплі по пухирцеподібній поверхні;
- дослідити вплив пухирцеподібної поверхні на пошкодження бульб.

**Методи та способи дослідження.** Теоретичні дослідження проведені із застосуванням положень механіко-математичного моделювання, методів диференціального числення. Експериментальні дослідження проводились з використанням галузевих і розроблених методик на стандартному та виготовленому обладнанні і приладах. Проведені дослідження з використанням методик планування багатофакторного експерименту. Аналіз математичних моделей та обробка експериментальних даних здійснювалась за допомогою прикладних програм на ПК.

**Новизна дослідження** полягає в тому, що:

- набули подальшого розвитку дослідження низки фізико-механічних властивостей бульб картоплі, які впливають на процес переміщення (транспортування навантаження);
- вперше розроблена математична модель процесу взаємодії бульб пухирцеподібною поверхнею;
- вперше проведені експериментальні дослідження та визначена техніко-економічна оцінка ефективності використання розробленого напівпричепа.

**Структура роботи.** Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Властивості оброблюваного матеріалу та технологічного процесу

### 1.1.1 Характеристики бульб картоплі

Картопля є культурою помірного клімату, що дає найбільший урожай при середній добовій температурі 17-18°C. Як надто низькі, так і надто високі температури негативно впливають на її ріст та розвиток.

В Україні культивується близько 70 різновидів картоплі. Середній показник врожайності в країні за сприятливих умов становить 125-130 центнерів з гектара. Проте досвід передових аграрних підприємств свідчить, що в ключових регіонах вирощування врожайність може бути у 2-3 рази вищою. Вегетаційний період картоплі поділяють на три етапи: від появи сходів до початку цвітіння; від цвітіння до завершення росту надземної частини (бадилья); та від припинення росту бадилья до його природного відмирання. Зберігання картоплі здійснюється у спеціалізованих сховищах або в кагатах.

Бульби картоплі є одним з ключових продуктів харчування для людей, особливо у вареному вигляді. Вони містять велику кількість важливих вітамінів та клітковини, які легко засвоюються організмом і приносять значну поживну користь. Крім того, бульби картоплі активно використовуються для відгодівлі тварин, як у сирому, так і в запареному вигляді. Значну цінність для тваринництва також представляють силос із зеленої маси (бадилья) та побічні продукти промислової переробки бульб, зокрема барда, жом та інші. За поживністю 100 кг сирих бульб містять 29,5 кормових одиниць, силос – 8,5, а сушені жмаки – 52 кормові одиниці. Якщо картоплю вирощують спеціально для кормових цілей, продуктивність одного гектара може перевищувати 5-6 тисяч кормових одиниць.

Картопля також слугує важливою сировиною для промисловості, застосовуючись у виробництві спирту, крохмалю, глюкози, декстрину та іншої цінної продукції. Як просапна культура, картопля відіграє значну агротехнічну роль: вона є ефективним попередником для ярих зернових, а її ранні сорти – також і для озимих культур.

### 1.1.2 Характеристики технологічного процесу роботи напівпричепи в системі вирощування бульб

Машина призначена для перевезення картоплі. Відомості про технологічні процеси, в яких приймає участь машина є основою даних для визначення продуктивності, в залежності від режиму її роботи. Оскільки напівпричіп є малотоннажний то його призначення можливе для ведення власного присадибного господарства. Наведемо базовий технологічний процес, в якому бере участь напівпричіп, який потрібно використовувати, переважно у домогосподарських цілях на невеликих ділянках землі.

Технологія вирощування картоплі включає такі процеси:



Оскільки машину можна використати у двох операціях за сезон то охарактеризуємо їх окремо. Отже підвезення (доставка) бульб на ділянку вирощування є важливим логістичним етапом, що охоплює передпосівну підготовку і уособлює подальше транспортування. Це часто передбачає використання спеціалізованих транспортних засобів з метою мінімізації часу простою сільськогосподарської техніки під час садіння. Тим самим

забезпечуючи безперебійну роботу посадкових машин і комбайнів, а також підтримання необхідного температурного режиму для збереження якісних характеристик бульб. Цей процес є невід'ємною частиною агротехніки вирощування, яка сприяє оптимізації витрат, підвищенню загальної ефективності виробництва, а також допомагає запобігти розповсюдженню шкідливих організмів.

Серед процесу перевезення слід звернути увагу на пошкодження бульб та пагонів, саме від них залежить енергія проростання та схожість і відповідно врожайність. Для унеможливлення пошкоджень замінюємо операцію насипного навантаження у кузов причепа, на завантаження в ящики, мішки чи іншу невелику тару. Відповідно насипання на кузов причепа можливе з застосуванням передбачуваної поверхні, яка може бути виготовлена з капаролу та мати пухирцеподібну форму.

Другий етап застосування напівпричепа починається у сезон збирання картоплі. Для цього можна використовувати і розроблювану в проекті машину.

При технологічній схемі збирання, можна застосовувати насипання бульб з комбайна, якщо така операція є та насипання бульб з відер чи кошів, якщо відбувається збирання бульб з поля а викопування проводять копачем з розстилом.

При роботі машини не допускається пошкодження бульб. До пошкоджених відносяться бульби: розрізані і надрізані, роздавлені з тріщинами довжиною по хорді 20см., з виривами і потемніннями м'якоті від ударів глибиною більше 5мм і зідраною шкіркою більше ніж з 1/4 поверхні бульби. Відповідно такі пошкодження можуть виникнути при викопуванні.

Причеп може агрегатуватися з малогабаритною технікою, а саме тракторами класу тяги 0,4...0,9кН – це Т-30, Т-25, Агромаш-30ТК (ВТЗ-2032), ВТЗ-45АТ, Т-40 (трактор), ЛТЗ-55/А/АН, ТТЗ-80.10 и Т-28Х4М з потужністю двигунів 12-50к.с. та системою ВВП.

Термін служби машини повинен бути не менше 7 років. Без заміни деталей, що швидко спрацьовуються. Машина повинна застосовуватись у зборі урожаю до ТО не менше як з 100 га.

Показники надійності і довговічності однорядного тракторного напівпричепа сформовані в табл. 1.

Таблиця 1 – Показники надійності і довговічності

№	Найменування	Показник
1.	Коефіцієнт готовності	0,95
2.	Коефіцієнт надійності технологічного	0,97
3.	Коефіцієнт технічного використання	0,9
4.	Коефіцієнт використання	0,7

Дана сільськогосподарська машина повинна відповідати загальним вимогам до проектування тракторів і машин щодо безпеки та гігієни праці.

Під час створення такої техніки слід враховувати механічний склад ґрунту, його пористість, вологість, а також показники тертя, липкості та опору зсуву. Проте для конкретного типу машини, що розробляється, особливу увагу варто приділити її абразивним властивостям, наявності каміння, коефіцієнтам тертя і кочення, а також допустимим рівням пошкоджень.

Вологість ґрунту суттєво впливатиме на функціонування нашої техніки. Зміни вологості по-різному позначаються на властивостях різних типів ґрунтів.

Сухий пісок не має зв'язності та є розсипчастим матеріалом. За умови вологості, близької до капілярної, він набуває максимальної згуртованості завдяки капілярним силам. Однак, при надмірному зволоженні, особливо дрібний пісок, втрачає свою зв'язність.

У глинистих ґрунтів без чіткої структури міцність зчеплення завжди зростає зі зменшенням рівня вологи. Вологість ґрунту значно впливає як на енерговитрати під час його обробки, так і на якість виконуваних робіт. Найбільш оптимальні умови для роботи знарядь настають, коли ґрунт

перебуває у стані "фізичної стиглості", що відповідає відносній вологості 50-70%.

Значна частка потужності трактора витрачається на подолання сил тертя, що виникають на поверхні робочих елементів машини, наприклад, лемешів. Коефіцієнт тертя залежить від механічного складу ґрунту, гладкості робочої поверхні матеріалу, з якого виготовлено інструмент, а також від питомого тиску в зоні контакту і швидкості ковзання ґрунту.

Максимальний коефіцієнт тертя при ковзанні сталевого елемента по зв'язному піщаному ґрунту спостерігається при низькій вологості. Специфічний опір ґрунту під час обробки значно корелює з його гранулометричним складом. Максимальний питомий опір відзначається при значному пересиханні ґрунту, коли в ньому залишається тільки гігроскопічна вода. Зі зростанням вологості та появою капілярної води, питомий опір знижується, що пов'язано зі зменшенням зв'язності та твердості ґрунту. При середньому рівні вологості (стані фізичної стиглості) ґрунт має найменший опір і легко подрібнюється. Подальше збільшення вологості ґрунту призводить до його налипання на робочі органи, що викликає зростання питомого опору.

## 1.2 Аналіз існуючих конструкцій машин та робочих органів, що вдосконалюються

Аспекти механізованого перевезення картоплі були предметом вивчення у численних наукових джерелах [3-11]. У роботах [3-7] розглядаються принципи функціонування транспортних машин, а також обґрунтовують конструктивні та експлуатаційні характеристики обладнання й окремих його робочих органів. Джерела [8-9] присвячені аналізу конструктивних особливостей та спеціальних пристосувань, які можуть бути застосовані з метою мінімізації пошкоджень бульб. У публікації [10] проведено аналіз якісних показників технологічного процесу, визначено експлуатаційно-

технологічні характеристики та оцінено ефективність застосування машин з різною вантажопідйомністю. Наведено машини для перевезення картоплі які впроваджуються у сільське господарство багатьма світовими фірмами-виробниками техніки зокрема і для збирання коренебульбоплодів, серед яких відомі Lockwood (США), Unia (Польща), WMKartoffeltechnik, Grimme, AVR, (Німеччина), DeWulf (Бельгія), IMAC (Італія), Juko (Фінляндія), Ploeger, Agrifac, (Нідерланди), Kverneland (Норвегія) та ін.

### 1.3 Огляд теоретичних досліджень

Дослідженням процесів та розробкою конструкцій зокрема картоплекопальних машин займалися такі науковці: П.М. Василенко, Л.В. Погорілий, Б.П. Шабельник, Г.А. Хайліс, І.І. Ревенко, Б.М. Гевко, В.М. Рогатинський, Р.Б. Гевко, Б.Ф. Пасаман та інші. Переважно їхня діяльність була зосереджена на обґрунтуванні параметрів техніки та вивченні взаємодії коренебульбоплодів із робочими елементами. Тут варто зазначити, що саме взаємодія бульб з робочими органами і викликає пошкодження, тому ми опрацьовували подібні теоретичні дослідження.

Таким чином, огляд теоретичних праць із даного питання буде виконано на підставі розробленої методики, яка охоплює визначення дальності польоту бульб, процеси падіння, аналіз енергетичних витрат, тощо.

Початкову швидкість польоту бульб спричинена роторним органом  $v_0$  можна визначити виходячи з емпіричної залежності:

$$v_0 = w r, \quad (1.1)$$

де  $w$  – кутова швидкість робочого органа, с-1;

$r$  – радіус ротора, м.

Швидкість вивантаження картоплі залежить від площі вихідного отвору.

Площа вихідного отвору становить:

$$F = \Delta h b, \quad (1.2)$$

де  $b$  – ширина вивантажувальної ємкості;

$\Delta h$  – висота бульб розміщених в ємкості.

Виходячи з того, що:

$$P \Delta h = m v_0^2 / 2, \quad (1.3)$$

і підставляючи загальне значення маси бульб розміщених в ємкості отримуємо:

$$m = \gamma \Delta h F, \quad (1.4)$$

Замінюючи співвідношення тиску на внутрішні поверхні та розміру випускного отвору на (величину внутрішнього напруження у поперечному перерізі стовпа сипучого матеріалу в ємкості), ми отримуємо розрахунковий вираз для визначення швидкості розвантаження:

$$v = v_0 \lambda, \quad (1.5)$$

де  $\lambda$  – Коефіцієнт витрати загальної маси бульб (або коефіцієнт потоку) через вихідний отвір заданої площі  $F$ . Цей показник відображає обсяг витікання матеріалу, беручи до уваги сукупний вплив внутрішнього тертя між бульбами та тертя бульб об стінки отвору. Для картоплі типовий діапазон значень цього коефіцієнта ( $\lambda$ ) становить 0,55–0,66, при цьому для практичних розрахунків зазвичай приймають  $\lambda = 0,6$ .

Значення тиску бульб на стінки ємкості  $\sigma$  визначаємо за формулою:

$$\sigma = x g \gamma R_m, \quad (1.6)$$

де  $x$  – коефіцієнт, який залежить від виду матеріалу ( $x = 1,6$ ).

Підставляючи  $\sigma$  у формулу для визначення швидкості вивантаження:

$$v = x \sqrt{3,2 g R_m} = 5,62 \lambda \sqrt{R_m}, \quad (1.7)$$

де  $R_m$  – відношення площі вихідного отвору до його периметру.

Величину  $R_m$  визначаємо за формулою:

$$R_m = 0,5 a b / (a + b), \quad (1.8)$$

де  $a, b$  – розміри сторін вихідного отвору ємкості, м.

На основі виконаних розрахунків встановлено, що рекомендована швидкість вивантаження для ємкості розробленого роторного вивантажувача становить 1,05 м/с.

Відповідно до джерела [4], для запобігання пошкодженню бульб, падіння картоплі на поверхню повинно відбуватися під кутом не менше  $15^\circ$ .

Розрахунками встановлено, що за кутової швидкості роторного робочого органу  $\omega_1 = 7,3 \text{ с}^{-1}$ , дальність польоту становить  $l = 0,93 \text{ м}$  і відповідно кут падіння  $\alpha = 28^\circ$ . При кутовій швидкості роторного робочого органу  $\omega_2 = 11,5 \text{ с}^{-1}$ , дальність польоту становить  $l = 1,47 \text{ м}$  і відповідно кут падіння  $\alpha = 28^\circ$ .

Отже, при роботі роторного робочого органу бульба не буде пошкоджуватись при падінні.

#### 1.4 Обґрунтування вихідних даних

Цей напівпричіп призначений для перевезення зібраної картоплі з різних типів ґрунту, зокрема при гребневому та напівгребневому способі посадки з міжряддями 60 см.

Розроблюваний напівпричіп удосконалюється шляхом модернізації існуючої моделі ПТС-2. Це передбачає встановлення на кузов спеціального захисного покриття (амортизуючої підкладки), яка має пухирцеподібну структуру.

Для роботи з напівпричепом у складі агрегату необхідний тяговий засіб.

Його габаритні розміри не повинні бути більшими за такі показники: довжина – 4200 мм, ширина – 2200 мм, висота – 184 мм, маса – 740 кг

До комплекту постачання машини входять запасні частини, які замінюються у разі, якщо їхній експлуатаційний термін виявиться меншим за гарантований виробником.

## 1.5 Висновки до розділу 1 та задачі досліджень

Аналіз наукових даних та практичного досвіду у сфері техніки для перевезення м'яких вантажів показує, що найефективнішими, з точки зору експлуатації та мінімізації пошкодження бульб, є машини, які використовують захисне обладнання. Таке поєднання значно знижує ступінь пошкодження.

Багато сучасних машин непридатні для транспортування бульб насипом за рахунок відсутності передбачуваного обладнання. У цьому контексті малогабаритна техніка, виглядає найбільш перспективно. Проте, для оптимізації їхньої роботи та підвищення якості переміщення врожаю, необхідно їх модернізувати, зосередившись на захисному обладнанні, інтенсифікації процесу та зменшенні складності.

Через брак точної інформації щодо характеристик ґрунтів та особливостей вирощування картоплі в різних регіонах України, складно визначити оптимальні конструктивні параметри для напівпричепи, які б відповідали всім сучасним вимогам. Це вимагає проведення додаткових експериментальних досліджень для подальшого вдосконалення техніки.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

Проаналізувати існуючі технології перевезення картоплі та на цій основі розробити теоретичні засади для проектування нової техніки;

Розробити та обґрунтувати конструкцію напівпричепи та захисним обладнанням;

Створити математичну модель руху бульб, як твердого тіла по пухирцеподібній поверхні кузова при вивантаженні;

Розробити спеціальне обладнання для вивчення процесу переміщення бульб;

Провести експериментальні випробування та обґрунтувати економічну доцільність використання нової машини.

## 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ

### 2.1 Обґрунтування технологічного процесу та розробка схем машини

Трудомісткі операції перевезення бульб зосереджені як на насінневному матеріалі так і на врожаю. Тому удосконалений технологічний процес з містить дві операції з застосуванням розроблюваної машини, він представлений на рис. 2.1.

*Удосконалена технологія вирощування бульб картоплі*

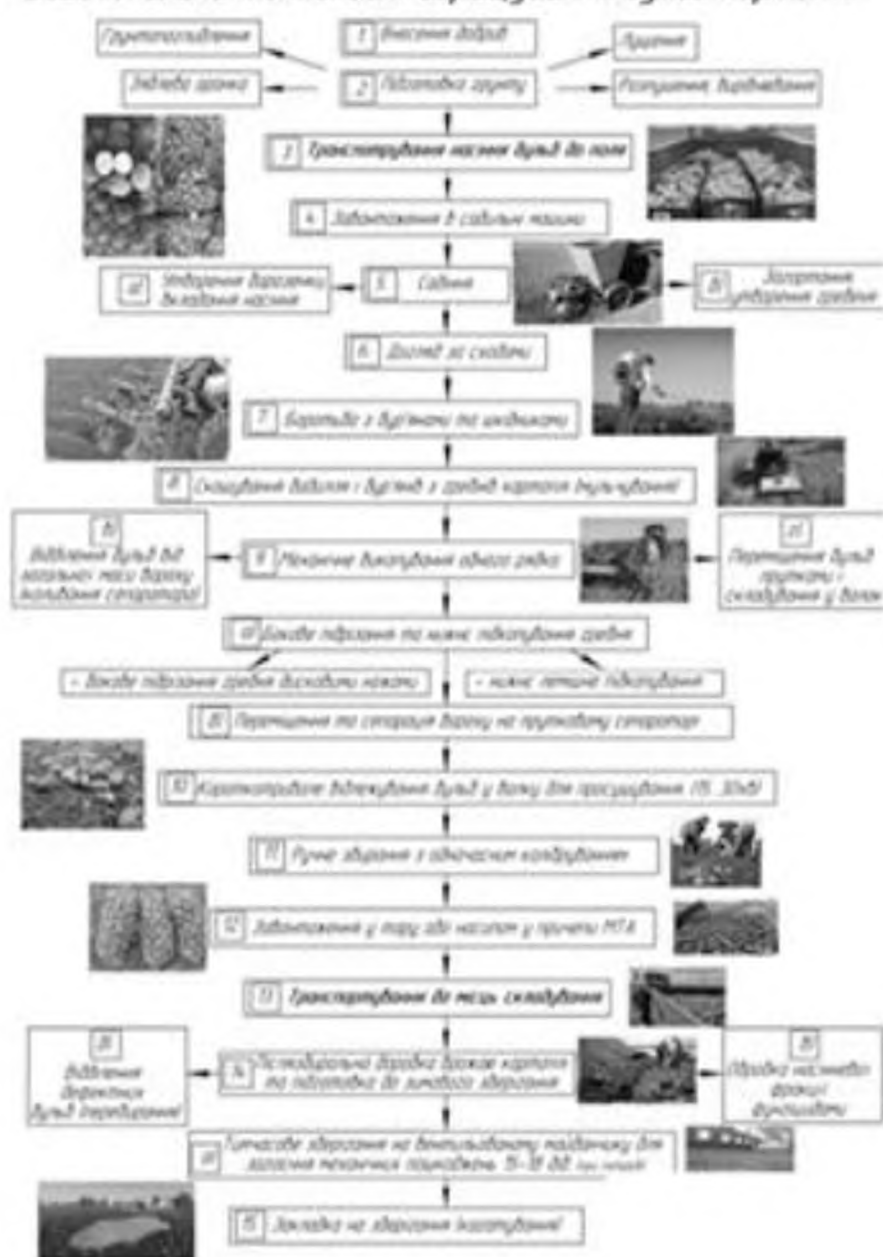


Рисунок 2.1 – Удосконалена технологія з застосуванням картоплекопалки

Самоскидний напівпричіп є складним технічним пристроєм, усі робочі механізми якого функціонують за допомогою гідравлічної системи, що живиться від гідравліки трактора, з яким він агрегується.

Принцип дії напівпричепи показує, як працюють його основні складові. Передача зусилля відбувається завдяки потоку гідравлічної рідини, яка надходить по трубах від гідросистеми трактора до гідравлічного циліндра. Під впливом тиску гідроциліндр здійснює рух вперед-назад, що призводить до підйому кузова та вивантаження матеріалу.

Насос забезпечує створення потоку рідини під тиском, а його подачу регулює розподільник, який управляє функціонуванням підйомного гідроциліндра. Конструкція пристрою дозволяє здійснювати розвантаження у трьох напрямках – праворуч, ліворуч та назад – відповідно до потреб виробничого процесу. Схема машини при вивантаженні зображена на рис.

2.2

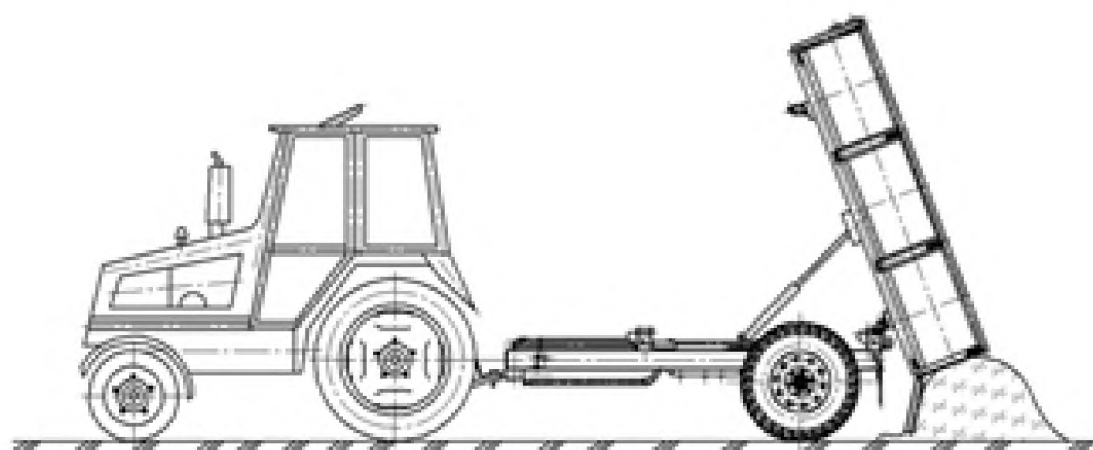


Рисунок 2.2 – Схема вивантаження напівпричепи

## 2.2 Розробка принципової схеми

Принципова схема є фундаментом для розуміння функціонування обладнання, його регулювання, а також для проведення профілактичних і ремонтних робіт. Вона також виступає ключовим джерелом інформації при розробці проектної документації.

На схемі відображені всі необхідні проєкції, включаючи позначення та маркування складових частин. Документ оформлено на папері формату А1 відповідно до встановлених стандартів.

Гідравлічний циліндр розташований на рамі причепа: одна його сторона кріпиться безпосередньо до рами, а інша – до кузова. Введення гідроциліндра в дію відбувається завдяки тиску, який генерує гідравлічна система трактора. Саме цей тиск забезпечує прямолінійне переміщення поршня, що уможливило підйом кузова для вивантаження вантажу. (Див. рис. 2.3)

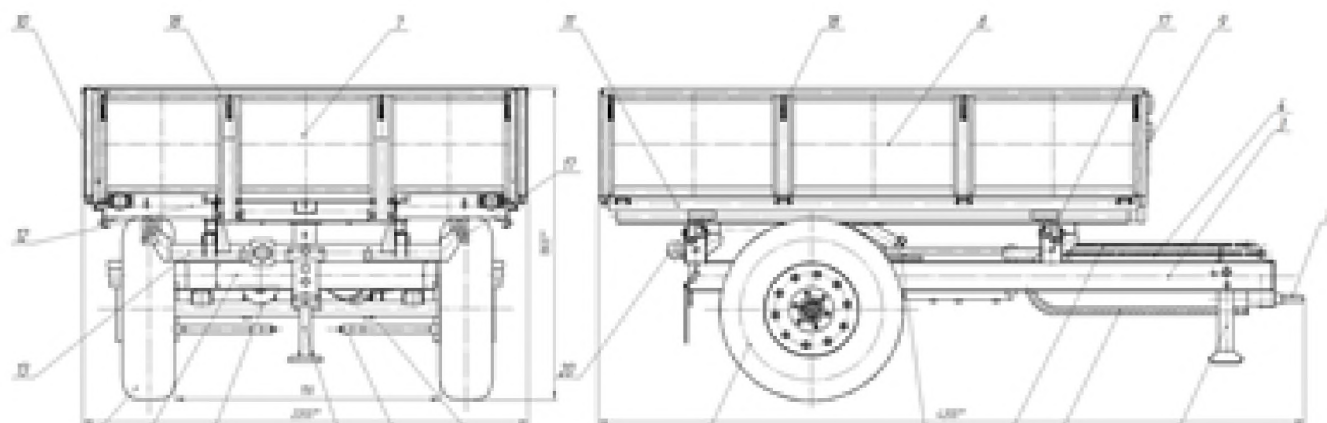


Рисунок 2.3 Принципова схема самоскидного одновісного напівпричепа

### 2.3 Розробка конструкції складальних одиниць і деталей

В рамках роботи було розроблено конструкцію пухирцеподібної поверхні бортів для одноосьового самоскидного напівпричепа, який при потраплянні бульб знижує ударні моменти та зменшує пошкодження. Механізм задовольняє добрі результати і під час вивантаження (підйому кузова) насипом зменшуючи тертя бульб, а збільшуючи її перекочування.

Опис принципу роботи наступний:

Передача робочої сили починається з гідродвигуна трактора, який через гідравлічну систему приводить у дію гідроциліндр, що забезпечує підняття кузова.

Запроектований напівпричіп призначений для перевезення різних сільськогосподарських матеріалів. Зчіпний гак приєднується до тягача за допомогою штифта, а гідропривід підключається до гідросистеми трактора та монтується на рамі. На раму встановлюється кузов, оснащений гідроциліндром підйому. Після монтажу гідросистеми виконується пробний запуск (налагодження) та усунення виявлених недоліків.

До складу приводу входять також стандартні елементи – болти, гайки, ущільнювачі, прокладки тощо. Для виготовлення деталей використані конструкційні матеріали: для відповідальних вузлів – сталь 40Х за ГОСТ 4543-71 і сталь 45 за ГОСТ 1050-74, для менш навантажених – сталь 10 і сірий чавун СЧ15 відповідно до ГОСТів. Осьове закріплення здійснюється за допомогою установочних гвинтів і упорних шайб.

Через обмеженість доступних стандартних виробів, були виконані креслення як основних, так і допоміжних деталей – таких як шток, корпус, кришки тощо. З метою зменшення матеріальних витрат і загальної металомісткості конструкції широко застосоване зварювання, переважно з використанням кутників і швелерів стандартного профілю.

Креслення деталей виконані згідно з вимогами ЄСКД: обрані оптимальні проєкції, види, розрізи, перерізи; зазначено всі розміри, допустимі відхилення, шорсткість оброблених поверхонь, а також технічні вимоги. У куткових штампах подано масу деталей, над ними – додаткові умови до виготовлення.

Аналіз конструкції підтвердив її технологічність, зручність виготовлення та надійність у роботі. Запропонована конструкція забезпечує стабільну роботу механізму розвантаження та перевезення.

Оптимізація форми елементів дозволила знизити витрати на виробництво та експлуатацію.

Перед встановленням кузова та гідроциліндра необхідно перевірити технічний стан вузлів машини. Монтаж рами проводиться з урахуванням правильного горизонтального положення осей коліс, яке перевіряється рівнем.

Після монтажу кузова й інших елементів виконується під'єднання гідросистеми. Зважаючи на наявність об'ємного гідроциліндра, важливо дотримуватись таких вимог до встановлення гідроагрегатів:

- забезпечення легкого доступу до вузлів;
- можливість заміни окремих агрегатів без розбору інших частин системи;
- відсутність додаткових навантажень на гідроагрегати від трубопроводів.

З'єднання гідросистеми виконують сталевими трубами або гнучкими шлангами. Вимоги до останніх:

- відсутність перегинів і скручування;
- недопущення тертя між шлангами чи елементами конструкції;
- мінімальна довжина прямої ділянки біля з'єднань – не менше 6 діаметрів шланга;
- наявність пристрою для випуску повітря в найвищій точці системи.

Після завершення монтажу система заправляється робочою рідиною відповідної марки, очищеною від механічних домішок і без вмісту води. Фільтрація має відповідати вимогам найточнішого фільтра системи.

На завершення, напівпричіп з'єднується з тягачем, а гідросистема – із замкнутим контуром циркуляції гідросистеми трактора..

## 2.4 Обґрунтування процесу переміщення бульб на пухирцеподібній поверхні

Машина з пасивними елементами застосовується у різних операціях сільського господарства. Значна кількість науковців приділила увагу дослідженню процесів переміщення (транспортування) картоплі, а також визначенню оптимальних характеристик відповідних механізмів.

Аналіз наявних досліджень показує, що найпоширенішим є спосіб транспортування за допомогою машин з кузовом.

При проектуванні таких систем важливо враховувати не лише продуктивність та мінімізацію втрат, а й запобігання пошкодженню бульб картоплі. Для підвищення ефективності транспортування необхідно забезпечити стабільний рух картоплі, що досягається завдяки постійному контакту бульб з робочою пухирцеподібною поверхнею.

Однак, через особливості взаємодії, безперервний контакт бульб з нерівною поверхнею можливий лише за певних умов. Ці умови, що визначають збереження контакту, можуть бути описані за допомогою відповідних параметрів.

$$\bar{R}_i \cdot \bar{n}_i > 0; N_M > 0; N_N > 0; \quad (2.1)$$

Дослідження руху бульб на пухирцеподібній поверхні виконували в два етапи. На першому етапі вивчали кінематику руху центра кулі, знаходили закон її руху:  $y_s = y_s(t)$ ,  $z_s = z_s(t)$ ,  $x_s = x_s(t)$ , момент проходу  $t_s$ , координати центра кулі  $z^o_s = z_s(t)$ ,  $x^o_s = x_s(t)$ ,  $y^o_s = y_s(t)$ , її швидкість  $v^o_s$  в момент проходу. Потім на основі диференціальних рівнянь динаміки твердого тіла визначали вектор миттєвої кутової швидкості кулі  $\omega$  і сили реакцій зв'язку,  $R_K N_M N_N$ , та перевіряли умови (2.1). Зобазимо схему розрахунку (рис. 2.4)

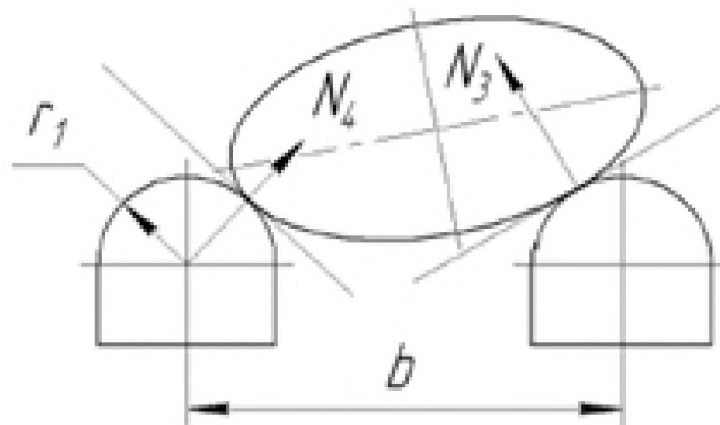


Рисунок 2.4 – Схема взаємодії бульби з пухирцеподібною поверхнею.

На другому етапі було розглянуто вільний рух об'єкта після проходження через напрямні елементи до моменту зіткнення з горизонтальною поверхнею сепаратора.

Рівняння поверхні в параметричному вигляді може бути представлено наступним чином:

$$\begin{aligned} x = x(s, \varphi) &= -s \sin \varphi; & y = y(s, \varphi) &= s \cos \varphi \\ z = z(s, \varphi) &= \frac{h_c}{2\pi} (\Omega s - \varphi), & (R_o \leq s \leq R_s), & & -\infty < \varphi < \infty \end{aligned} \quad (2.2)$$

де  $s$  – відстань від осі  $Oz$  до точки контакту з пухирцем що розглядається;

$\varphi$  – кут системи координат, пов'язаної з віссю  $Oz$ ;

$h_c$  – крок розміщення пухирців;

$R_o, R_s$ , – внутрішній і зовнішній радіуси пухирця;

$\Omega$  – швидкість зповзання бульб. Рівняння поверхні бульб і напрямних  $AB, DC$  визначаються співвідношеннями:

$$(x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 + (z - z_s)^2 = R_s^2; \quad (2.3)$$

$$x = x(z) = h + z \operatorname{tg}(\beta - \gamma), \quad y = y_0; \quad (2.4)$$

$$x = x(z) = -h - z \operatorname{tg}(\beta + \gamma), \quad y = y_0. \quad (2.5)$$

Тут  $h$  – відстань між точками  $A$   $D$ , напрямних  $AB$  і  $DC$ .

Координати точок зіткнення кулі з прутком точка  $K(x_K, y_K, z_K)$  і напрямними  $AB$  – точка  $M(x_M, y_M, z_M)$ ,  $DC$  – точка  $N(x_N, y_N, z_N)$  знаходяться із умов належності цих точок, до пухирців.

Між координатами,  $y_S, z_S$  має місце зв'язок:

$$y_S = y_0 - \sqrt{R_s^2 - \left[ h \cos(\beta - \gamma) + z_S \frac{\sin \beta}{\cos \gamma} \right]^2}. \quad (2.6)$$

Звідси визначається певне значення  $z_S = z_S^*$ , яке обумовлює проходження бульби через напрямні у вигляді:

$$z_S^* = \left[ R_s - h \cos(\beta - \gamma) \right] \frac{\cos \gamma}{\sin \beta}. \quad (2.7)$$

Швидкість центра бульби визначали, спираючись на принцип рівності проєкцій швидкостей центра кулі та точки  $K$  на поверхні стрижня, що спрямовані вздовж радіального напрямку кулі, і  $n = (r_K - r_S) / (r_K - r_S)$ .

$$(V_K - V_S) n = 0 \quad (2.8)$$

Звідси тримаємо значення

$$V_{\Omega} = \dot{z}_S = \frac{h_c}{2\pi} \Omega s_K \left[ s_K + \frac{h_c}{2\pi} \left( \operatorname{tg} \gamma \cos \varphi_K - \frac{dy_S}{dz_S} \sin \varphi_K \right) \right]^{-1};$$

$$V_{\Omega} = \dot{x}_S = -\dot{z}_S \operatorname{tg} \gamma, \quad V_{\Omega} = \dot{y}_S = \frac{dy_S}{dz_S} \dot{z}_S, \quad (2.9)$$

де  $y_S = y_S(z)$ , знаходиться співвідношенням (2.6).

Застосувавши обернену функціональну залежність  $t=t(z_s)$ , співвідношення (2.9) може бути трансформовано у звичайне диференціальне рівняння:

$$\frac{dt}{dz_s} = \left[ \frac{h_c}{2\pi} \Omega s_k \right]^{-1} \left[ s_k + \frac{h_c}{2\pi} \left( \operatorname{tg} \gamma \cos \varphi_k - \frac{dy_s}{dz_s} \sin \varphi_k \right) \right], \quad (2.10)$$

де  $s_k$ ,  $\varphi_k$  – визначається з використанням співвідношень (2.2)–(2.5).

Розглянувши для (2.10) задачу в інтервалі  $z_s = \varepsilon[0, z^*]$  з початковими умовами  $t(0)=0$ , що дозволяє знайти залежність  $t=t(z_s)$ , а потім, використовуючи монотонність цієї залежності і обертаючи її, знайдемо  $z_s = z_s(t)$ .

Під час аналізу руху тіла вздовж напрямних, враховується дія гравітаційних сил із прискоренням вільного падіння  $g$ . У точці контакту  $K$  передбачається відсутність ковзання та присутність сили реакції зв'язку  $R_k$ . У точках взаємодії  $M$  та  $N$  між тілом і напрямними діють нормальні сили тиску (позначені як  $N_M$  та  $N_N$ ), а також сили тертя з динамічним коефіцієнтом тертя  $f_m$ .

Тоді рівняння динаміки бульби, як твердого тіла одержано у вигляді:

$$m\ddot{w}_s = \vec{R}_k + m\vec{g} - N_M \left[ \frac{\vec{r}_M - \vec{r}_s}{|\vec{r}_M - \vec{r}_s|} + f_m \frac{\vec{V}_{Mr}}{|\vec{V}_{Mr}|} \right] - N_N \left[ \frac{\vec{r}_N - \vec{r}_s}{|\vec{r}_N - \vec{r}_s|} + f_m \frac{\vec{V}_{Nr}}{|\vec{V}_{Nr}|} \right]; \quad (2.11)$$

$$J \frac{d\ddot{\omega}}{dd} = (\vec{r}_k - \vec{r}_s) \cdot \vec{R}_k - f_m \left[ N_M (\vec{r}_M - \vec{r}_s) \cdot \frac{\vec{V}_{Mr}}{|\vec{V}_{Mr}|} + N_N (\vec{r}_N - \vec{r}_s) \cdot \frac{\vec{V}_{Nr}}{|\vec{V}_{Nr}|} \right], \quad (2.12)$$

де  $J=2mR_s^2/5$  – тензор інерції кулі;

$m$  – маса;

$w_s$  – прискорення центра маси бульби.

Таким чином, система рівнянь (2.11), (2.12) включає чотири невідомих:  $R_k$ ,  $N_M$ ,  $N_N$ ,  $\omega$ .

Для замикання системи залучимо кінематичні співвідношення:

$$\vec{V}_M \cdot (\vec{r}_M - \vec{r}_S) = 0, \quad \vec{V}_N \cdot (\vec{r}_N - \vec{r}_S) = 0, \quad (2.13)$$

які відображають умови перпендикулярності швидкостей  $V_M$ ,  $V_N$  точок кулі до відповідного радіуса. Замкнута система рівнянь (2.11)–(2.13) вирішується сумісно з застосуванням числових методів. Закон руху центра маси бульби після проходження через напрямні розглянуто як задачу Коші за значеннями координат центра кулі точки  $S$   $(x_S^0, y_S^0, z_S^0)$ , і її швидкості  $V_S^0 = (x_S^0, y_S^0, z_S^0)$ , що одержані на попередньому етапі:

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = m \vec{g}, \quad \vec{r}(0) = (x_S^0, y_S^0, z_S^0). \quad (2.14)$$

У процесі вирішення поставленої задачі були визначені координати місця падіння картоплі на площину. Це дозволило окреслити траєкторію її руху від початкового розташування на направляючих елементах до моменту приземлення у спеціальні пристрої для відбору зразків ( $LS$ ).

Показник  $LS$ , по суті, відображає середню дистанцію, яку проходить картопля певної фракції до цих пробовідбірників.

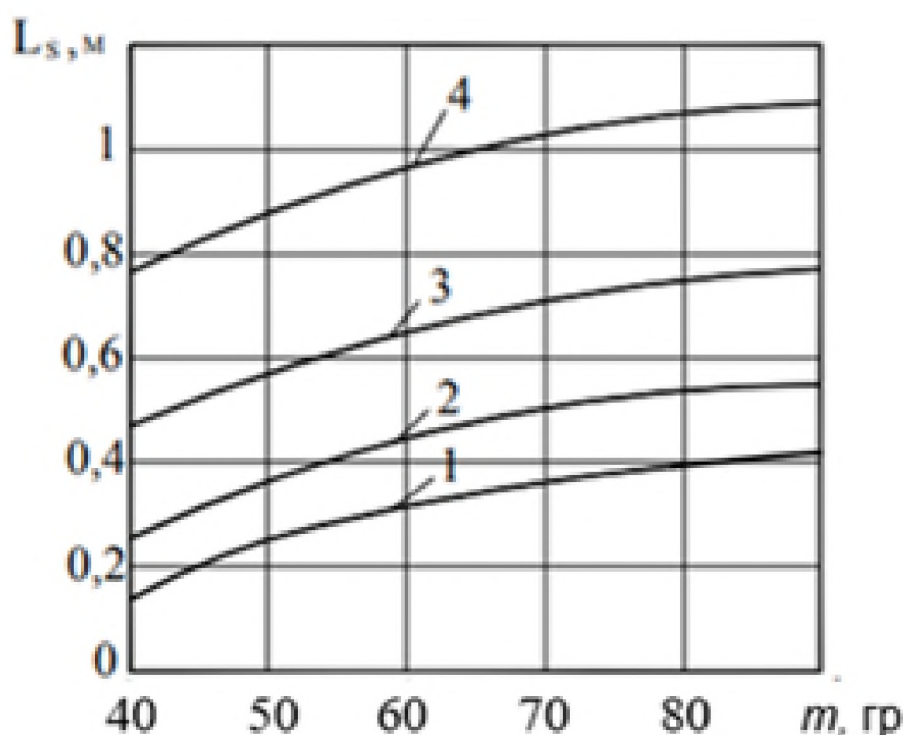
На основі отриманих залежностей, шляхом розрахунків, було проаналізовано вплив конструктивних та кінематичних характеристик машини для викопування, а також фізико-механічних властивостей картоплі на точність польоту. Ця точність зумовлюється стабільністю переміщення бульб по направляючих елементах під час їх взаємодії зі стрижневою поверхнею.

Процес переміщення картоплі визначається такими параметрами, як кутова швидкість переміщення відносно пухирцподібної поверхні ( $\omega$ ), кут його нахилу відносно горизонту ( $\delta$ ) та відстань  $LS$  – місце падіння бульби у рядок.

Пошкодження бульб картоплі обумовлюється значеннями зусиль контакту бульб з прутками, що визначаються реакціями зв'язку  $N_M$  і  $N_N$ .

При зростанні цих значень збільшується ймовірність пошкодження бульб. Зменшення значень  $N_M$  і  $N_N$  до мінімуму ( $N_M$  і  $N_N=0$ ) спричиняє порушення стійкості технологічного процесу, що визначається сходом бульб картоплі.

Виявлено, що вплив конструктивних та кінематичних характеристик на ефективність переміщення залежить від стабільності переміщення бульб по пухирцеподібній поверхні. Збільшення швидкості (див. рис. 2.5) сприяє оминанню пухирців та проходження бульб з меншими пошкодженнями та тертям.



Графічна залежність переміщення бульб  $L_s$  по пухирцеподібній поверхні залежно від маси  $m$ , за радіусів пухирців 1 –  $R_s=0,08$ м; 2 –  $R_s=0,10$ м; 3 –  $R_s=0,12$ м; 4 –  $R_s=0,14$ м.

## 2.5 Висновки до розділу 2

На підставі проведених теоретичних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Синтез засобів для перевезення коренебульбоплодів дозволив отримати конструкцію напівпричепа та обґрунтувати процес його роботи, із складом пухирцеподібної кузовної поверхні.

2. Аналіз конструкції напівпричепа і його роботи дозволив розкрити фізичну суть процесів, які відбуваються під час переміщення, перевезення, транспортування, завантаження, вивантаження бульб від ґрунту і теоретично обґрунтувати доцільність використання пухирцеподібної кузовної поверхні.

3. Отримана математична модель процесу динаміки руху бульб, як твердого тіла по пухирцеподібній поверхні кузова дозволяє дослідити вплив конструктивно-технологічних параметрів останньої на процесу переміщення бульб при вивантаженні.

## 3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Вибір напрямку дослідження

Дослідницька частина магістерської роботи була реалізована шляхом проведення теоретичних і практичних досліджень, а також випробувань в лабораторних та виробничих умовах, які здійснювалися послідовно. При цьому, практичні дослідження проводилися паралельно з теоретичними, згідно з затвердженим планом роботи.

Вибір технічного напрямку досліджень базувався на аналізі існуючих технологій і процесів, що застосовуються для транспортування картопляних бульб. Особлива увага приділялася енергоспоживанню, ефективності процесу та ступеню пошкоджень продукції. У результаті була запропонована нова конструкція напівпричепа з бульбашковою поверхнею, доцільність використання якої була аргументована як теоретичними, так і практичними даними.

Теоретичні дослідження виконувалися після ретельного вивчення доступних наукових праць, технічної літератури за обраним напрямком та попередніх випробувань лабораторного обладнання. Підсумком цих досліджень стало обґрунтування оптимальних конструкційних та технологічних параметрів бульбашкової поверхні, на основі яких був розроблений та виготовлений її дослідний зразок, а також проведені випробування в реальних виробничих умовах.

Тестування бульбашкової поверхні підтвердило її функціональність, продемонструвало очікуваний позитивний результат та низку переваг у порівнянні з іншими існуючими розробками. Загальний підхід до планування та виконання досліджень для вирішення поставлених у роботі завдань представлений на Рисунку 3.1. Ключовим завданням досліджень було

визначення цілей та обрання відповідних методів для вивчення обраних об'єктів.

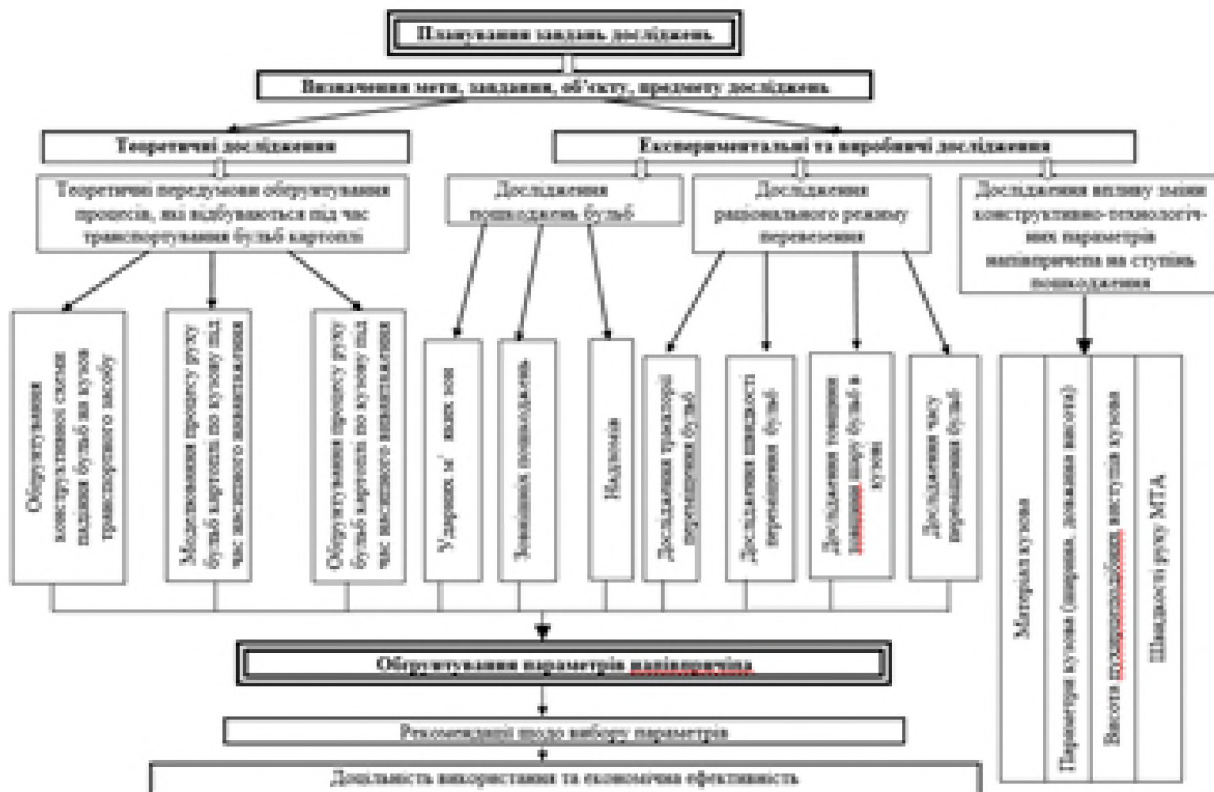


Рисунок 3.1 – Схема проведення досліджень

### 3.2 Дослідження коефіцієнтів тертя кочення та ковзання бульб картоплі

Дослідження проводились у лабораторних та польових умовах із використанням приладів похила площина з маятником. див. рис. 3.2.

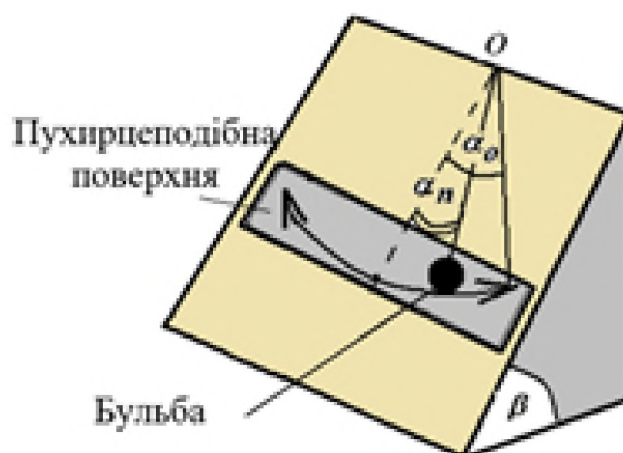


Рисунок 3.2 – Фото установки для дослідження коефіцієнту тертя

Предметом дослідження слугували зразки картоплі з різною масою та різним рівнем забруднення, які переміщувалися по похилій поверхні.

Ця поверхня мала різні типи покриття, зокрема пухирцеподібна поверхня. Для встановлення коефіцієнта тертя кочення застосовувався маятник, площина коливань якого утворювала певний кут із горизонтальною площиною  $\beta$  (рис. 3.3). У ролі маятника була використана бульбіна, радіусом  $R=15\text{мм}$ , яка була підвішена до нитки довжиною  $L = 25\text{см}$ , де  $OO'$ - лінія рівноваги,  $\alpha_0$  – кут відхилення від лінії рівноваги, який був рівний  $40^\circ$ ,  $\alpha$  – кут максимального відхилення нитки із картоплиною в іншу сторону. При цьому  $\alpha_0 > \alpha$ , оскільки енергія маятника зменшується за рахунок тертя кочення.

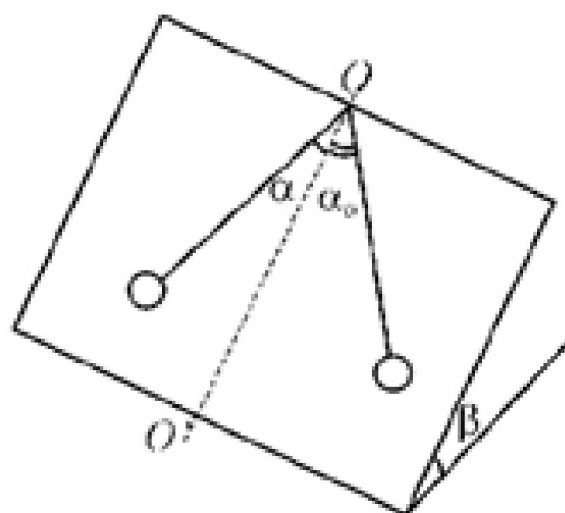


Рисунок 3.3 – Схема установки для дослідження коефіцієнту тертя кочення

Амплітуда коливань за один період:

$$\varphi = \alpha_0 - \alpha \quad (3.1)$$

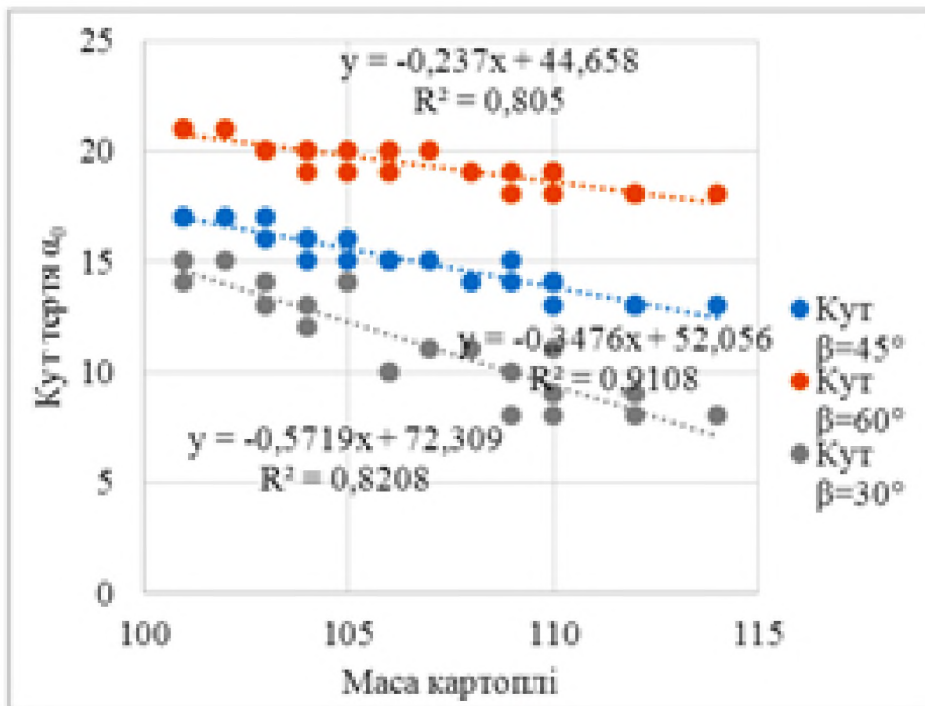
Коефіцієнт тертя кочення:

$$k = \frac{R\varphi \lg \beta}{4} \quad (3.2)$$

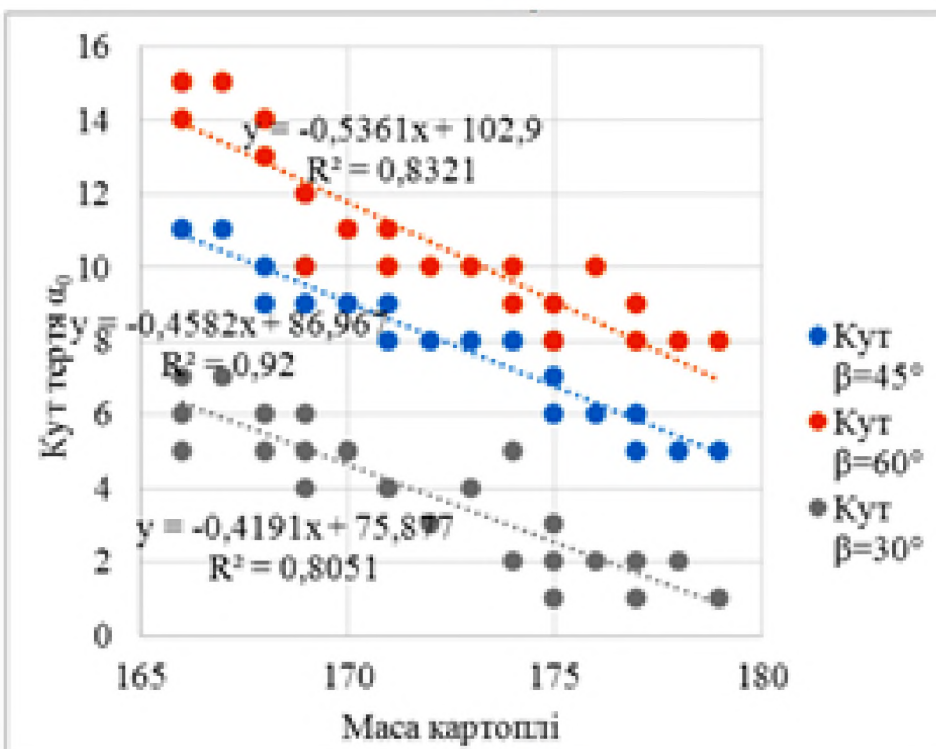
Підставивши рівняння амплітуди коливань для одного періода отримаємо:

$$k = \frac{R(\alpha_0 - \alpha)tg\beta}{4} \quad (3.3)$$

На рис. 3.3 наведено результати визначення кутів тертя кочення залежно від маси бульб у вигляді ліній тренду та отримані рівняння, які описують дану залежність.



а)



б)

Рисунок 3.4 – Залежності кута  $\alpha_0$  від маси бульби: а – бульби без наліпання ґрунту; б – бульби з наліпшим вологим ґрунтом

На унеможливлення пошкодження картоплі впливають сім факторів, які можна розділити на три групи: технологічні ( $V, \tau, a, h$ ), конструктивні ( $a, b$ ) і фізико-механічні ( $\gamma$ ). Однак детальний аналіз цих факторів, показує, що ними управляти в технологічному процесі важко.

### 3.3 Методика визначення засміченості вороху бульб картоплі

Рівень забруднення партії бульб картоплі оцінювали шляхом аналізу двох зразків (проб) з кожної партії. Маса кожного зразка становила 500 грамів.

Зразки вручну розділяли на дві основні категорії: основна культура та сторонні вклучення. До основної продукції відносили всі бульби картоплі. До сторонніх вклучень зараховували ґрунт, залишки рослинності (бур'янів, стебел, бадилля) та каміння.

Після завершення розділення, кожна категорія зважувалася за допомогою технічних ваг з точністю до 0,01 грама. Отримані дані вважалися достовірними, якщо сумарна маса обох виділених категорій дорівнювала початковій масі зразка. В іншому випадку результати дослідження визнавалися недійсними.

Відсотковий вміст фракцій визначали за формулою:

$$C = \frac{m_{\phi} \times 100}{m_{\Sigma}} \quad (3.4)$$

$m_{\phi}$  – маса фракцій, г;

$m_{\Sigma}$  – сумарна маса початкової наважки, г.

Аналіз вважався закінченим, якщо розбіжність між результатами двох наважок не перевищував 3%. В іншому випадку слід робити ще перевірку.

### 3.4 Результати дослідження визначення засміченості вороху бульб

Допустима розбіжність між результатами аналізу двох наважок вороху бульб наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Засміченість вороху бульб

Матеріал	Середньоарифметичне значення $C$ за двома наважками, %	Фактична розбіжність між результатами двох наважок, %
Ворох бульб картоплі	70,01	2,36

### 3.5 Методика визначення пошкодження насінневого матеріалу внаслідок контакту із робочою поверхнею

Оскільки під час роботи лабораторної установки, що імітує процеси перевантаження, бульби контактували з нерухомими робочими елементами під час руху, було необхідно оцінити ступінь їх пошкодження шляхом візуального огляду.

Передбачалося, що ушкодження бульб могли виникнути внаслідок ударів при падінні або тертя. Незважаючи на це, пухирчаста поверхня (імовірно, самої бульби або елементів установки) мала б мінімізувати такі ушкодження під час взаємодії.

Для подальшого визначення енергії проростання та схожості, бульби відбирали в зоні вивантаження після їхнього транспортування по робочій поверхні. У проведених дослідях використовувалися ранні сорти картоплі, такі як «Нагорода» та «Bellarosa».

Експерименти з оцінки енергії проростання та схожості насінневого матеріалу здійснювалися в польових умовах на території Агрополігону ЛНТУ.

Визначення енергії проростання та схожості проводили відповідно до вимог ДСТУ 3657-97. Насінневий матеріал з кожної відібраної проби висаджувався вручну у заздалегідь підготовлені лунки.

Контроль за появою сходів здійснювали на 5-й день (для визначення енергії проростання) та на 10-й день (для оцінки схожості).

Згідно з ДСТУ 3657-97, додаткову перевірку на енергію проростання та схожість також виконували через два місяці після основного циклу досліджень.



Рисунок 3.5 – Розміщення насінневої бульби на пухирцеподібній поверхні

Таблиця 3.2 Результати досліджень

Назва	Кут нахилу кузова, град	Схожість, %
Нагорода	40	100
	45	100
	50	100
Bellarosa	40	100
	45	100
	50	100



Рисунок 3.6 – Схожість насіння бульб картоплі після переміщення по пухирцеподібній поверхні

### 3.4 Висновки до розділу 3

1. Кут тертя кочення зменшується зі зростанням маси бульб, причому цей вплив більш вагомий для бульб із наліпшим ґрунтом;

2. Закономірність впливу маси бульб на величину кута кочення описується лінійним законом із коефіцієнтом рандомізації, близьким до 0,9, що говорить про достовірність;

3. Проведені експериментальні дослідження за польовою методикою визначення енергії проростання та якості сходів стверджують, що суттєвий вплив на процес пошкодження не відбувається.

## 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИНИ

### 4.1 Організація процесів підготовки матеріалів до перевезення

Сучасне виробництво часто включає поділ процесів і завдань. Це дозволяє спеціалізувати обладнання та персонал, що сприяє скороченню часу виробництва та підвищенню ефективності. Водночас, робота на підприємствах є спільною, і її успіх залежить від того, наскільки добре організовано розподіл завдань, підтримуються потрібні пропорції та налагоджена співпраця між окремими працівниками та підрозділами.

Поділ процесів і робіт, перш за все, означає розподіл праці. На підприємстві це передбачає чітке визначення завдань для співробітників, які працюють разом, а також їхню спеціалізацію на певних етапах спільного завдання.

Ефективне транспортування можливе лише за умови добре організованого робочого процесу. Це включає виконання всіх етапів перевезення, підготовки та технічного обслуговування відповідно до заздалегідь розроблених, обґрунтованих планів і документів.

Сільськогосподарські матеріали значно різняться за своїм походженням та характеристиками. Вони можуть мати різні розміри, об'єм, площу, форму, рівень вологості, вагу, а також бути липкими тощо.

Запланований самоскидний напівпричіп з однією віссю розроблений для перевезення будь-яких сипучих сільськогосподарських матеріалів, за умови, що вони правильно підготовлені до використання, мають відповідну вологість та вагу згідно з їхнім призначенням.

Перелік завдань, які потрібно виконати перед завантаженням, змінюється. Це залежить від місця перевантаження, умов зберігання матеріалів на складах, а також від наявності потрібного обладнання для їх підготовки.

Самоскидний напівпричіп призначений для транспортування матеріалів до вказаного пункту.

З огляду на обсяг робіт та доступне обладнання, важливо розробити технологічну схему. Вона має поєднувати в собі послідовність дій, планування робочих процесів та використання допоміжних машин.

## 4.2 Заходи по підготовці машини до роботи і порядок роботи

### 4.2.1 Експлуатаційні вимоги

Перед початком експлуатації техніки необхідно дотримуватися таких вимог, які слід виконувати щосезонно, щозмінно, а також при передачі обладнання іншому оператору:

Провести зовнішній огляд та перевірити надійність кріплення всіх вузлів та деталей, особливо рухомих елементів. За потреби підтягнути кріплення коліс. У разі виявлення будь-яких пошкоджень, дефектів або несправностей негайно повідомити відповідального інженера та усунути їх.

Перевірити встановлені на техніці прилади електрообладнання та світловідбивні елементи.

Перевірити функціонування гальмівної системи: гальмування повинно відбуватися ефективно з першого натискання гальмівної педалі. Гальмівний шлях агрегату (наприклад, трактор-причіп) з вантажем до 6 тонн, при початковій швидкості гальмування 30 км/год на горизонтальній ділянці з твердим покриттям, що має коефіцієнт зчеплення шини з покриттям 0,7, не повинен перевищувати 12,3 м при максимально встановленому зменшенні прискорення 4,4 м/с та гальмуванні трактора.

Перевірити тиск у шинах та, за необхідності, довести його до рекомендованого рівня 6 бар.

Перевірити гідросистему на відсутність витоків оливи у гідравлічних компонентах, а також перевірити рівень оливи у баку та технічний стан манометрів.

Перевірити наявність мастила в колісних маточинах та провести змащування всіх необхідних частин обладнання.

#### 4.2.2 Комплектувальні вимоги

Процес комплектування агрегату передбачає виконання таких кроків:

Здійснити підготовку трактора до роботи з навісним обладнанням згідно з його інструкцією з експлуатації.

Для приєднання машини до трактора: встановити тяговий гак на навісний пристрій трактора; приєднати зчіпну петлю дишла до гака; закріпити розтяжки, розкоси та страхувальні стропи.

Перевести опорну стійку дишла в транспортне положення.

Підключити гальмівну систему до з'єднувального штуцера трактора та відкрити впускний клапан.

Під'єднати штепсельну вилку електрообладнання до відповідної розетки трактора.

Приєднати елементи гідравлічної системи до гідравлічних роз'ємів трактора.

#### 4.2.3 Керування роботою машини

Запуск роботи робочих органів зокрема при вивантаженні здійснюється з кабіни трактора. Для цього необхідно перевести важіль керування гідравлічною системою в робоче положення, що активує відповідний клапан. Це забезпечить підняття вивантажувального кузова.

Контроль за функціонуванням приводу вивантажувального механізму здійснюється шляхом увімкнення гідравлічного двигуна трактора, який одночасно задіює всю систему.

Кожне залучення приводів машини слід виконувати при мінімальних обертах двигуна трактора, з подальшим плавним збільшенням їх до досягнення робочої швидкості агрегату.

#### 4.2.4 Система регулювання керування та управління

Система керування функціонує у два етапи: спочатку відбувається зчитування показників сенсорів, а потім — безпосереднє регулювання відповідно до отриманих даних.

Конструкція включає три сенсори. Початковий сенсор (DN) встановлюється в місці надходження матеріалу до кузова; він активується, генеруючи сигнал високого рівня (логічна «1»), що свідчить про наявність матеріалу. Сенсор перевантаження (DP) розміщений перед входним отвором гідроциліндра; при повному заповненні кузова він виробляє сигнал високого рівня (логічна «2»), сигналізуючи про перевантаження. Кінцевий сенсор (DK) встановлюється на завершальній частині розвантажувального борту; він подає сигнал низького рівня (логічний «0») після припинення подачі матеріалу, позначаючи завершення процесу. Таким чином, усі три сенсори видають три різні логічні сигнали.

Автоматичне вимкнення приводу спрацьовує при активації систем захисту та контролю, що виявляють такі несправності, як проковзування, відхилення, невідповідності або розсипання матеріалу тощо.

Екстрена зупинка також забезпечується згаданою вище системою.

Необхідно здійснювати моніторинг робочого стану гідравлічних компонентів для забезпечення коректного розвантаження матеріалів в інші агрегати.

Оператор повинен володіти знаннями щодо: призначення та конструкції обладнання, пускової та вимірної апаратури, а також правил їх обслуговування; припустимих швидкостей та навантажень; методів діагностики та процедур усунення несправностей у роботі; властивостей переміщуваного матеріалу та методів його сортування; схеми розташування розвантажувального механізму; методів регулювання швидкості переміщення та реверсування.

#### 4.2.5 Технічні особливості машини

Самоскидний напівпричіп найбільш поширена транспортуюча машина в сільському господарстві. Основні параметри такої машини загального призначення стандартизовані.

Матеріал наливається на кузов вручну чи завантажувачем і розвантажується через здій борт методом піднімання кузова.

Напівпричіп має прямолінійну форму, продуктивність залежить від виду матеріалу, що транспортується і коливається в незначних межах.

#### 4.2.6 Правила експлуатації машини

Забороняється потрапляння у завантажувальний відсік каміння, брил або інших сторонніх предметів. Це може спричинити пошкодження робочих елементів обладнання.

Навантаження обладнання понад встановлену вантажопідйомність суворо заборонено.

Перед початком роботи слід встановити оптимальну норму завантаження. Ці норми є чинними лише за умови відповідності певних параметрів, таких як густина матеріалу, швидкість руху та інші. Якщо фактичні показники відрізняються від встановлених, необхідно провести

коригування для забезпечення точного обліку обсягу переміщуваних матеріалів.

Запуск приводів робочих частин слід виконувати на мінімальних обертах двигуна, плавно збільшуючи їх до оптимальної робочої частоти, що забезпечує необхідну швидкість агрегату. Під час підвищення обертів двигуна важливо не допускати проковзування фрикційних муфт трансмісії довше ніж 5 секунд, щоб запобігти прискореному зносу накладок.

Після кожного робочого дня слід ретельно очищати обладнання від залишків та виконувати його миття. Нехтування цією вимогою призводить до скорочення експлуатаційного терміну служби агрегату.

#### 4.2.7 Підготовка МТА до роботи

Керуючі елементи машини розташовані як на її корпусі, так і в кабіні трактора, що зумовлено їхнім функціональним призначенням та спрямовано на зручність користування. Ці механізми керування забезпечують виконання технічних та агрономічних вимог, зокрема щодо рівномірного розподілу сировини у вантажному відсіку.

Ті пристрої керування, що розміщені в кабіні трактора, застосовуються безпосередньо під час роботи машини. Вони дозволяють уповільнювати рух транспортного засобу, а також вмикати та вимикати робочі механізми.

Продуктивність машини суттєво залежить від правильної організації та режиму виробничого процесу. Тому перед виконанням операцій з переміщення вантажу необхідно заздалегідь підготувати відповідні робочі зони. Такий підхід гарантує якісне виконання завантаження і, за потреби, створює сприятливі умови для наступних етапів роботи. Визначення площі для перевантаження:

Площу майданчика для перевантаження сільськогосподарських матеріалів визначаємо за формулою

$$F_n = (F_{\text{об}} + F_{\text{зав}}) \cdot \sigma, \quad (3.1)$$

де  $F_{об}$  - сумарна площа під МТА, м<sup>2</sup>;

$F_{маш}$  - площа що займають машини на які навантажують, м<sup>2</sup>;

$\sigma$  - коефіцієнт, що враховує робочі зони та проходи

Площу під обладнання відобразимо у вигляді таблиці

Таблиця 4.1. Площа, яку займатиме обладнання

№	Назва	Кількість, шт.	Площа, м <sup>2</sup>
1.	Трактор Т-25	1	12
2.	Одновісний напівпричіп	1	15
<b>Всього</b>		2	7

Взявши значення  $\sigma = 4,0$ , як для майданчиків для перевантажування, отримуємо:

$$F_{об} = (37 + 18) \cdot 4 = 348 \text{ м}^2.$$

Із стандартного ряду вибираємо ширину і довжину майданчика рівною даній площі тоді довжина складатиме  $L = \sqrt{348} = 18,65 \text{ м}$ .

Приймемо  $L = 19 \text{ м}$ .

Далі проводимо розміщення агрегатів на розрахованій площі. При розміщенні враховуємо радіус роботи завантажувача-накопичувача і навколо нього розташовуємо решта обладнання

#### 4.2.8 Організація роботи на майданчику

Перш ніж почати роботу, необхідно підготувати майданчик. Для цього потрібно його міряти, намітити лінії розташування агрегатів, мість для розворотів та переїзду.

Радіус повороту визначимо за формулою:

$$P=\pi L/4 \quad (3.2)$$

де  $L$  – довжина завантажувача, м;

Для перевантажувача, з врахуванням довжини МГА

( $L=5,95+5,24=11,19\text{м}$ ):

$$P = 3,14 \cdot 19/4 = 14,9 \text{ м} \quad \text{Приймаємо } P=15\text{метрів}$$

Перед тим, як приступити до роботи необхідно перевірити правильність встановлення швидкості транспортування.

### 4.3 Порядок роботи

Підїхавши на уявний майданчик, варто візуально оцінити стан завантажувального матеріалу.

Підїхавши тракторист включає гідросистему трактора та ставить його у нерухоме положення підставивши при цьому опорні клини під колеса. При необхідності, (після першої хвилини роботи) перевірити правильність встановлення норми перевантаження матеріалу. З кабіни трактора тракторист-оператор (механізатор) повинен періодично контролювати роботу машини.

Рекомендується періодично перевіряти справність вузлів машини, щоб знати їх технічний стан. При виникненні неполадок у роботі агрегату встановити їх причину і усунути.

### 4.4 Організація технічного обслуговування

#### 4.4.1 Види технічного обслуговування.

Тривалий термін служби та надійна функціональність обладнання визначаються коректним і своєчасним виконанням робіт з технічного обслуговування. З метою забезпечення безперебійної експлуатації та попередження аварійних ситуацій, розроблено систему планово-

попереджувального обслуговування. Проведення цих операцій є обов'язковим.

Планово-запобіжною системою передбачено наступні види технічного обслуговування:

- щоденне технічне обслуговування (ЩТО);
- перше технічне обслуговування (ТО-1);
- технічне обслуговування при між змінному зберіганні;
- технічне обслуговування при короткотривалому зберіганні;
- технічне обслуговування при довготривалому зберіганні;
- технічне обслуговування перед початком сезону роботи (ТО-С).

Технічне обслуговування при короткотривалому і довготривалому зберіганні складається з трьох етапів:

- технічне обслуговування при підготовці машини до зберігання;
- технічне обслуговування під час зберігання;
- технічне обслуговування при знятті із зберігання.

Проведення технічного обслуговування перед початком сезону роботи (ТО-С) рекомендується поєднувати з проведенням технічного обслуговування при знятті з довготривалого зберігання.

4.4.2 Розрахунок кількості ремонтів і технічних обслуговувань, та визначення річної трудомісткості робіт по технічному обслуговуванні

Кількість ремонтів і технічних обслуговувань машини визначаємо залежно від запланованого напрацювання на одну машину даної марки.

Кількість капітальних ремонтів визначаємо за формулою:

$$N_k = N_p \cdot \Pi / M_k \quad (3.3)$$

де  $N_p = 5000$  тон – заплановане річне напрацювання на машину;

$n = 1$  – кількість машин даної марки в господарстві;

$M_k=900$  тон – міжремонтний переробіток машини від останнього капітального ремонту.

Отже: 
$$N_k = \frac{5000 \cdot 2}{900} = 11,1$$

Кількість поточних ремонтів розраховуємо по формулі:

$$N_n = (Y_p / M_n) - N_k \quad (3.4)$$

де,  $Y_p=900$  тон – напрацювання машини від останнього або капітального ремонту або поточного ремонту.

$$N_n = \left( \frac{900 \cdot 2}{100} \right) - 11,11 = 6,9$$

Для напівпричепа будуть проводитись наступні технічні обслуговування: технічні обслуговування при обкатці, що змінне та періодичне ТО-1, ТО-2, ТО при зберіганні.

Кількість щоденних технічних обслуговувань буде рівною.

$$N_1 = (Y_p n / M_2) - (N_k + N_n), \quad (3.5)$$

де,  $M_2 = 40$  тон – напрацювання машини від останніх поточних ремонтів, або щоденного ТО.

Отже: 
$$N_1 = (900 \cdot 1 / 40) - (11,11 + 6,89) = 4,5$$

Необхідну кількість сезонних технічних обслуговувань визначаємо за формулою:

$$N_2 = (Y_p n / M_1) - (N_k + N_n + M_2), \quad (3.6)$$

де,  $M_1=18$  тон – напрацювання машини щоденними технічними обслуговуваннями.

$$N_i = (900 \cdot 1/18) - (6,89 + 11,11 + 40) = 2$$

По закінченню сезонних робіт для машини необхідно проводити технічне обслуговування на зберігання. Тому кількість цих ТО при користуванні однією машиною буде рівною 2.

#### 4.4.3 Розробка правил технічного обслуговування машини

Для забезпечення кращої ефективності, надійності та довговічності роботи техніки здійснюється регулярне обслуговування, яке має плановий характер і включає огляди. Важливим аспектом безвідмовної та тривалої служби механізмів є належний технічний догляд і своєчасне змащування.

Для вказаного напівпричепа розроблено комплексну систему технічного обслуговування. Вона включає щоденні перевірки, а також три планових обслуговування, позначені номерами 1, 2 та 3.

Крім того, передбачено сезонні обслуговування при зміні періодів експлуатації (осінь-зима, весна-літо). Окремо виконуються обслуговування в нестандартних умовах використання, які суттєво відрізняються від звичайних

Періодичність номерних технічних обслуговувань така:

- технічне обслуговування № 1 - через кожні 60 год роботи;
- технічне обслуговування № 2 - через кожні 240 год;
- технічне обслуговування № 3 - через кожні 960 год роботи.

При проведенні номерних технічних обслуговувань виконують не тільки регламентовані операції, а й усувають виявлені несправності.

#### 4.4.3.1 Щозмінне технічне обслуговування

(ЩТО) проводять в перерві між змінами (через кожні 10 год роботи).

Воно передбачає виконання таких операцій:

- перевіряють, чи немає підтікань, масла, через з'єднання деталей, оливи у гідросистемі, повітря у пневмосистемі;
- вимірюють рівень оливи і при необхідності доливають масло. Рівень вимірюють не раніше ніж через 20 хв після зупинки АТА;
- зливають конденсат з ресивера пневматичної системи;
- перевіряють ступінь засміченості повітроочисника за індикатором на щитку приладів;
- перевіряють роботу контрольних приладів, звукового сигналу та освітлення;

Оскільки експлуатувався проходить в умовах підвищеної запиленості повітря, то очищають МТА.

Під час робочої зміни треба прислухатися до роботи завантажувача-накопичувача, стежити за показаннями контрольних приладів, звертати увагу на температуру, запах і колір обертових вузлів. Крім того, слід періодично перевіряти стан шин, ступінь нагрівання корпусних вузлів, ходової і гідравлічної систем.

#### 4.4.3.2 Технічне обслуговування № 1 (ТО-1)

Технічне обслуговування № 1 (ТО-1) проводять через кожні 60 год роботи.

Спочатку виконують всі операції ЩТО. Після цього проводять такі операції: миють завантажувач-накопичувач; перевіряють рівень масла, тиск повітря в шинах і їх стан, роботу пульта управління і гальм;

змащують підшипники, зливають відстій з оливового фільтра грубої очистки.

Через одне технічне обслуговування № 1 (після 120 год роботи) перевіряють рівень і стан масла, засміченість повітроочисника, очищають ротор відцентрового масляного фільтра трактора, змащують підшипники шарнірів карданних валів.

#### 4.4.3.3 Технічне обслуговування № 2 (ТО-2)

Планове технічне обслуговування №2 (ТО-2) проводиться кожні 240 годин експлуатації. Спочатку виконуються всі процедури, передбачені для технічного обслуговування №1, після чого здійснюються такі додаткові дії:

Здійснюється заміна мастила у баку трактора та в піддоні повітряного фільтра. При використанні певних типів мастил (наприклад, М8Г2 і МЮГ2 згідно з ГОСТ 8581-78 із вмістом сірки до 0,5%) заміна мастила у баку перевантажувача виконується через 480 годин роботи.

Зливається осад (відстій) з фільтра тонкої очистки палива та з паливних баків.

Промиваються фільтрувальні елементи повітряного фільтра та регулятора тиску пневматичної системи.

Контролюється рівень мастила в корпусах трансмісії (муфта зчеплення, коробка передач, міст, верхні та нижні пари колісних редукторів, проміжна опора карданної передачі) та у баку роздільно-агрегатної гідравлічної системи. Також змащуються втулки поворотних цапф та втулка педалі зчеплення.

Здійснюється перевірка падіння тиску повітря в пневматичній системі (у вільному стані), а також герметичності повітряного фільтра, впускного трубопроводу до ресивера та вентиляційних отворів.

Виконується обслуговування системи опалення та кондиціонування повітря в кабіні трактора.

Перевіряється надійність кріплення маточин задніх коліс, лонжеронів до передньої балки та корпусу муфти зчеплення, а також кронштейна проміжної опори карданної передачі.

Кожне друге планове технічне обслуговування №2 (тобто через 480 годин експлуатації) передбачає додаткову перевірку та очищення центральної труби повітряного фільтра, а також промивання його корпусу з фільтрувальними елементами.

#### 4.4.3.4 Технічне обслуговування № 3 (ТО-3)

Технічне обслуговування №3 проводиться кожні 960 годин експлуатації. Перед його виконанням здійснюються всі роботи, передбачені плановим технічним обслуговуванням №2. Після цього виконується наступний перелік операцій:

Перевірка гідравлічного насоса на спеціальному випробувальному стенді щодо відповідності його робочих параметрів, об'єму подачі рідини та тиску початку функціонування.

Регулювання реле-регулятора.

Налаштування механізму ввімкнення зчеплення привідного редуктора. Промивання зливних фільтрів роздільної агрегатної та гідравлічної систем.

Очищення фільтрів грубого та тонкого очищення оливи, з обов'язковою заміною фільтруючих елементів тонкого очищення.

Заміна фільтруючого елемента повітряного фільтра.

Перевірка кутів установки передніх коліс (сходження).

Контроль осьового люфту підшипників ступиць коліс моста, з додаванням мастила за потреби.

Змащування підшипників шарнірів приводу, зубчастих передач правого розкосу та втулок вала механізму задньої навіски.

Очищення сітки горловини для заливки оливи.

Розширене технічне обслуговування №3 Кожне друге технічне обслуговування №3 (тобто після 1920 годин експлуатації) додатково передбачає:

Повторну перевірку стану та регулювання реле-регулятора.

Обслуговування пневматичних переходників та компресора гальмівної пневматичної системи.

Сезонне технічне обслуговування здійснюється при переході з весняно-літнього до осінньо-зимового періоду експлуатації і навпаки.

При підготовці до осінньо-зимового періоду експлуатації виконуються такі роботи:

Заміна літніх сортів мастил та олив на зимові в гідравлічній системі, а також у вузлах та агрегатах трансмісії та ходової частини.

Виконання всіх операцій чергового планового технічного обслуговування.

Промивання кришки та фільтра заливної горловини оливного бака.

Очищення фільтра-відстійника.

Продування паром або промивання гарячою водою ресивера пневматичної системи з подальшою перевіркою його герметичності.

Проведення сезонного обслуговування системи опалення кабіни.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі представлено теоретичне обґрунтування та інноваційне вирішення науково-практичної задачі, що полягає у вдосконаленні функціоналу напівпричепи та процесу транспортування бульб картоплі.

Вивчення технології переміщення картопляних бульб дало змогу з'ясувати її фізичні особливості та теоретично довести ефективність застосування напівпричепи.

Створено математичну модель руху бульб як твердого об'єкта по пухирцеподібній поверхні.

Під час лабораторних випробувань оцінювали забрудненість бульб при перевантаженні зібраного врожаю.

Виконані експериментальні дослідження засвідчують, що характеристики поверхні суттєво впливають на процес транспортування.

На підставі всебічних теоретичних та експериментальних досліджень було розроблено вдосконалену конструкцію напівпричепи.

## ПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Гевко Б.М. Технологія сільськогосподарського машинобудування. / Б.М Гевко - К.: Кондор, 2006. – 486 с
2. Старовойтов В.І., Кулькин А.І. Зниження втрат бульб при збиранні // Картопля і овочі –2005 – №4.
3. Боричев С.Н. Машини технології збирання бульб з застосуванням сучасних копачів: автореф. дис д-ра техн. наук: спец. 05.20.01 - „Технології і засоби механізації сільського господарства” С.Н. Боричев - К 2008.
4. Долгов И.А. Посібник сільськогосподарські машини (конструкція, теорія, розрахунок): Посібник. – К: Вид. центр ДГТУ, 2003. – 707 с.
5. Максимов Л. М. Новий міні-комбайн для збирання бульб. // Тракторі і сільськогосподарські машини, 2007. - № 3.
6. Петров Г.Д. Картоплезбиральні машини . - К.: Маш. буде, 1994. - 320 с.
7. Пасамаман Б.Ф., Гуцько Ю.Л., Пасамаман О.Б., Смолінський С.В. Теоретичне дослідження руху бульби картоплі по поверхні робочого органа картоплекопача // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст., Вип. 13. – Луцьк: ред.-вид. відділ ЛДТУ. – 2005. – С. 147-152.
8. Синій С. В. Тенденції розвитку однорядної картоплезбиральної техніки / С. В. Синій, Р. Б. Гевко // Вісник Львівського національного аграрного університету 2011. –№ 15. С. 379 -390.
9. Думич В. Аналіз конструкцій технічних засобів для комбайнового збирання картоплі / В. Думич, Я. Сало // Техніка і технології АПК. – 2013.
10. Думич В.В. Дослідження ефективності роботи картоплезбиральних машин на різних площах посадок / В.В. Думич, Вісник Львівського НАУ 2011. –№ 15. С. 123 132.
11. Я. Сало, В. Думич Техніко-економічний аналіз способів збирання картоплі // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування

нової техніки і технологій для сільського господарства України. Збірник наукових праць. Випуск 8 (22). Книга 1. Дослідницьке 2005.

12. Комарістов В.Ф. Сільськогосподарські машини. В.Ф. Комарістов, М.Ф. Дунай – К.: Вища школа, 1987.

13. Петров Г.Д. Картоплезбиральні машини. Г.Д. Петров – К.: Маш. буд, 1984. – 320 с.

14. Розрахунок і конструювання валів. Навчально-методичний посібник Д.М. Коновалюк, Р.М. Ковальчук. – Луцьк. ЛДТУ, 2003.

15. Сай В. А. Експлуатація сільськогосподарських машин / Методичні вказівки до виконання практичних робіт. В. А. Сай – Луцьк: ЛДТУ, 2002.

16. Теорія, конструкція, розрахунок сільськогосподарські машини / под ред. Е.С. Босого. – К.: Маш. буд, 1997.

17. Листопад Г.Е. Сільськогосподарські машини / Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов и др. К.: Агро, 1996

18. Бжезовска, А.И. Дослідження опору клубнів бульб механічні пошкодження, утворені механічним навантаженням: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.И. Бжезовска. – Вінниця, 1998. – 167 с.

19. Голиков, О.О. Удосконалення технологічного процесу і робочого органу сепарації картоплезбиральних машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Голиков О.О. - К, 2014.- 138 с.

20. Константинов, М.М. Обґрунтування параметрів вібраційних картоплекопальних машин [Текст] / М.М. Константинов, С.Н. Дроздов, Д.П. Юхин // К. – 2012.

21. Максимов, Л. М. Розробка і обґрунтування параметрів малогабаритних модульних бульблзбиральних машин роторного типу: дис. д-ра. техн. наук: 05.20.04 / Максимов Леонід Михайлович. - К, 2006.-77с.

22. Саврасова, Н.Р. Визначення максимальних навантажень в області дотику бульб при ударі / Н.Р. Саврасова // Вістник ЛНТУ. - 2012.

## ДОДАТКИ

Формат	Звіт	Позиція	Позначення	Назва	К-ть	Примітка
				<u>Документація</u>		
A4			A1.0H.00.00.0000. ПЗ	Пояснювочна записка	1	
A1			A1.0H.00.00.0000. 03	Схема принципу	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
	1		A1.0H.01.00.0000	Опорна стійка	1	
	2		A1.0H.02.00.0000	Зчепний гак	1	
	3		A1.0H.03.00.0000	Дишель	1	
	4		A1.0H.04.00.0000	Гидросистема	1	
	5		A1.0H.05.00.0000	Електросистема	1	
	6		A1.0H.06.00.0000	Гідролінійна система	1	
	7		A1.0H.07.00.0000	Задній борт	1	
	8		A1.0H.08.00.0000	Лівий борт	1	
	9		A1.0H.09.00.0000	Передній борт	1	
	10		A1.0H.10.00.0000	Правий борт	1	
	11		A1.0H.11.00.0000	Днище кузова	1	
	12		A1.0H.12.00.0000	Рама кузова	1	
	13		A1.0H.13.00.0000	Рама шасі	1	
	14		A1.0H.14.00.0000	Опорне колесо	2	
	15		A1.0H.15.00.0000	Балка	1	
	16		A1.0H.16.00.0000	Гідроциліндр	1	
	17		A1.0H.17.00.0000	Стремянка	4	
	18		A1.0H.18.00.0000	Защеп	16	

					<i>A1.0H.00.00.0000 СК</i>		
Зм	Арх.	№ докум	Підпис	Дата			
Розробив		Площинський Р.В.			Листа	Листів	Листів
Перевірив		Хомич С.М.			5	1	2
Т. контр.					ЛНТУ каф. Аграрної інженерії ім. проф. Г.А. Хайніса гр. АІІ-21		
Н. контр.		Волмчук С.М.					
Затверд.		Хомич С.М.					
<i>Одновісний напівпрічип</i>							



# ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ БУЛЬБ КАРТОПЛІ З РОЗРОБКОЮ САМОСКИДНОГО НАПІВПРИЧЕПА

**Мета роботи** – підвищення ефективності збереження бульб картоплі та унеможливлення їх пошкоджень при насипанні і транспортуванні шляхом застосування пухирцеподібної композитної поверхні самоскидного напівпричепа.

**Об'єкт дослідження** – процес переміщення та насипання бульб картоплі з використанням пухирцеподібної композитної поверхні самоскидного напівпричепа.

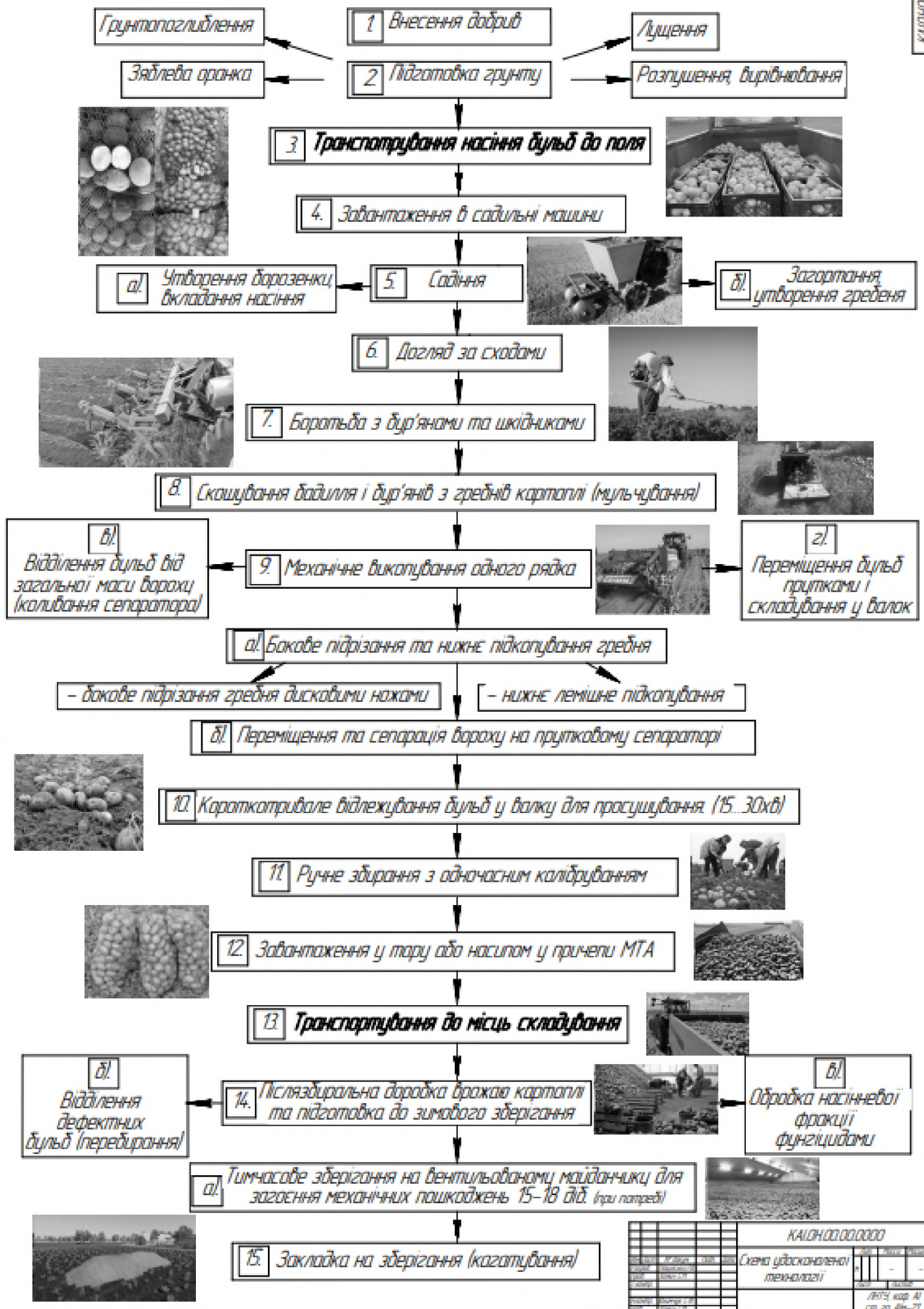
**Предмет дослідження** – встановлення взаємозв'язку між бульбами та параметрами пухирцеподібної композитної поверхні самоскидного напівпричепа і ефективністю його роботи та дослідження фізико-механічних властивостей бульб.

## **Завдання:**

- провести аналіз відомих машин і технологічних процесів переміщення (транспортування, насипання) бульб та на цій основі розробити теоретичні передумови проектування нової машини для перевезення з урахуванням недоліків аналогів;
- обґрунтувати конструктивну схему та технологічний процес роботи напівпричепа з пухирцеподібною поверхнею кузовних елементів;
- розробити математичну модель процесу переміщення бульб на пухирцеподібній поверхні;
- розробити відповідне оснащення для дослідження процесу переміщення бульб картоплі по пухирцеподібній поверхні;
- дослідити вплив пухирцеподібної поверхні на пошкодження бульб.

# Удосконалена технологія вирощування бульб картоплі

КАЛОН 00.00.0000



КАЛОН 00.00.0000	
Схема удосконаленої технології	№/кв. / стор.
ЛРГЗ, карт А1	стор. 21

# РОЗРАХУНОК ВЗАЄМОДІЇ БУЛЬБ КАРТОПЛІ З ПОВЕРХНЕЮ КУЗОВА

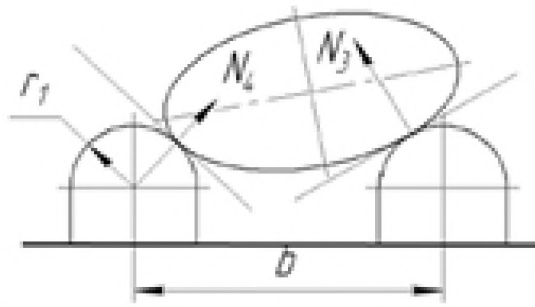


Схема взаємодії бульби з пухирцеподібною поверхнею кузова

Залежність для визначення маси бульб, яка потрапляє на кузов

$$m_{\Sigma} = \rho_{\epsilon} \cdot B \cdot h \cdot K_{\Sigma} \cdot S$$

$\rho_{\epsilon}$  – щільність бульб, кг/м<sup>3</sup>;

$B$  – ширина поверхні завантажуючого транспортера, м;

$h$  – висота пласта бульб на транспортері, м;

$K_{\Sigma}$  – коефіцієнт забруднення;

$S$  – площа кузова.

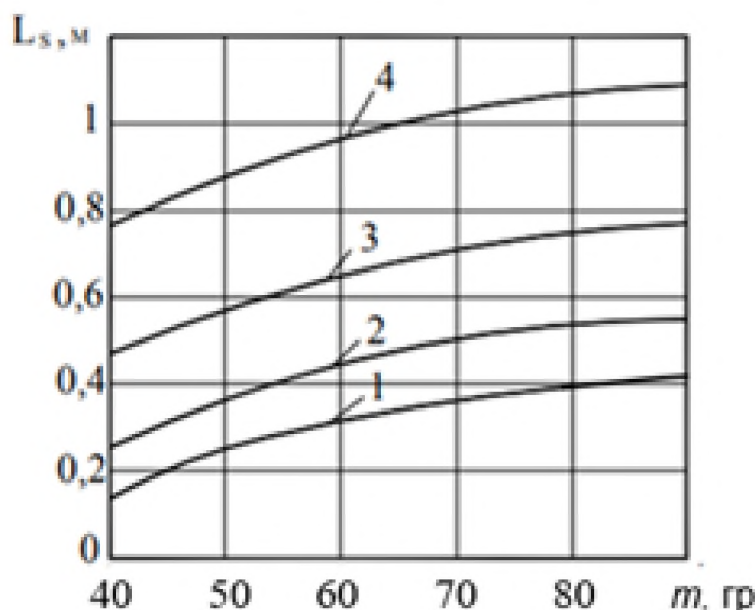
Умова непошкодженості бульб картоплі при взаємодії з пухирцеподібною поверхнею кузова

$$\sigma_{\delta} = K_{\Sigma} \cdot K_{\rho} \sqrt{N_{\max} \frac{E_{np}^2}{\rho_{пл}^2}} \leq [\sigma]$$

$E_{np}$  – модуль пружності;  $K_{\rho}$  – коефіцієнт пропорційності;  $N_{\max}$  – найбільше зусилля при взаємодії бульб з поверхнею кузова, Н

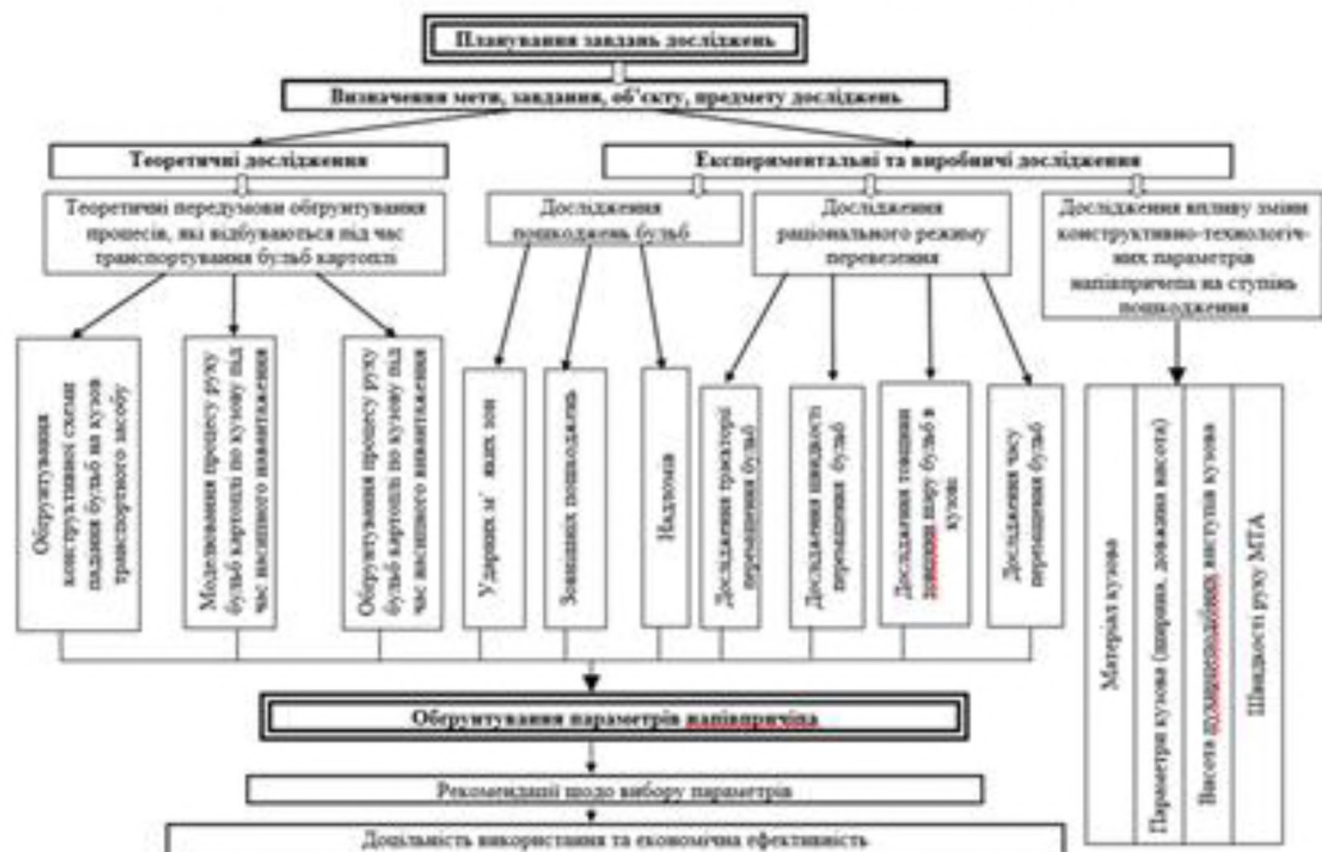
Рівняння руху бульб, як твердого тіла по пухирцеподібній поверхні кузова при вивантаженні

$$J \frac{d\bar{\omega}}{dd} = (\bar{r}_K - \bar{r}_S) \cdot \bar{R}_K - f_m \left[ N_M (\bar{r}_M - \bar{r}_S) \cdot \frac{\bar{V}_{Mr}}{|\bar{V}_{Mr}|} + N_N (\bar{r}_N - \bar{r}_S) \cdot \frac{\bar{V}_{Nr}}{|\bar{V}_{Nr}|} \right],$$



Графічна залежність переміщення бульб  $L_s$  по пухирцеподібній поверхні залежно від маси  $m$ , за радіусів пухирців 1 –  $R_s = 0,08\text{м}$ ; 2 –  $R_s = 0,10\text{м}$ ; 3 –  $R_s = 0,12\text{м}$ ; 4 –  $R_s = 0,14\text{м}$ .

# ПЛАНУВАННЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



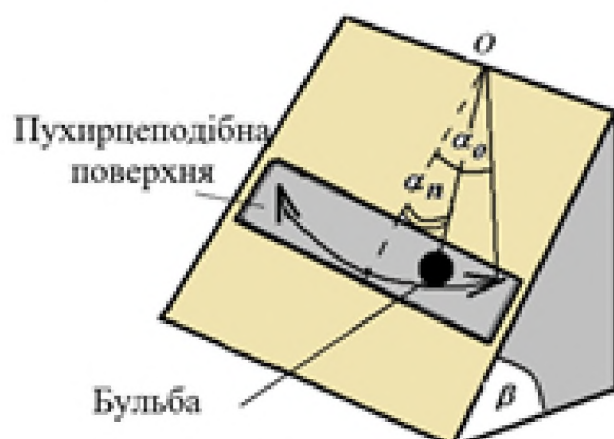
Розміщення насінневої бульби на пухирцеподібній поверхні



Схожість насіння бульб картоплі після переміщення по пухирцеподібній поверхні

Назва	Кут нахилу кузова, град	Схожість, %
Haropoda	40	100
	45	100
	50	100
Bellarosa	40	100
	45	100
	50	100

# ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ КОЧЕННЯ ТА КОВЗАННЯ БУЛЬБ КАРТОПЛІ ПРИ НАСИПНОМУ ВИВАНТАЖЕННІ



Умовна схема дослідження коефіцієнту тертя на приладі «похила площина з маятником»

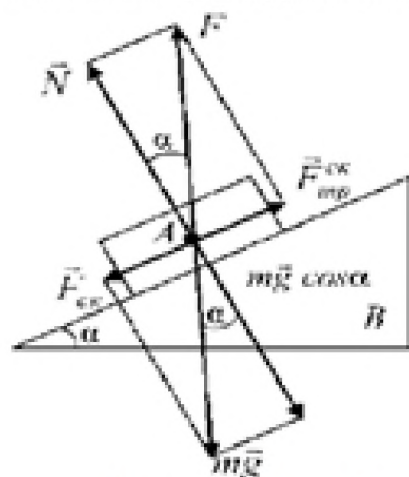


Схема сил, що діють на бульбу, яка знаходиться на нахиліній поверхні приладу «похила площина»:  $\alpha$  – кут нахилу до горизонту; А – покладено тіло; В – нахилена поверхня; N – нормальна реакція; F – горизонтальна сила; m – маса тіла А; g – сила тяжіння;

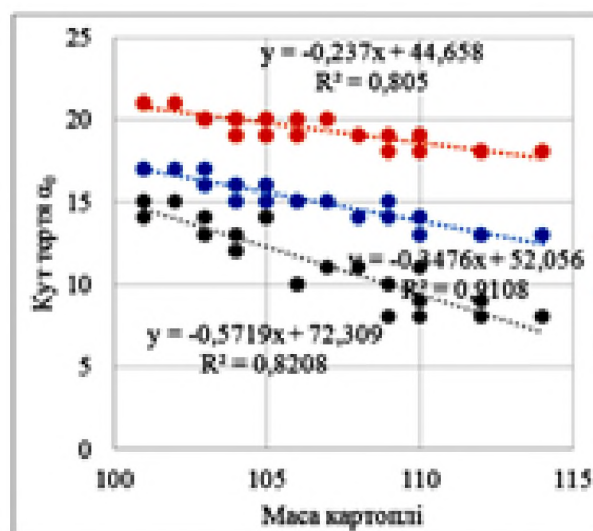
$F_{ск}$  – сила ковзання;  $F_{сп}$  – сила тертя ковзання

Амплітуда коливань підвішеної бульби за один період:

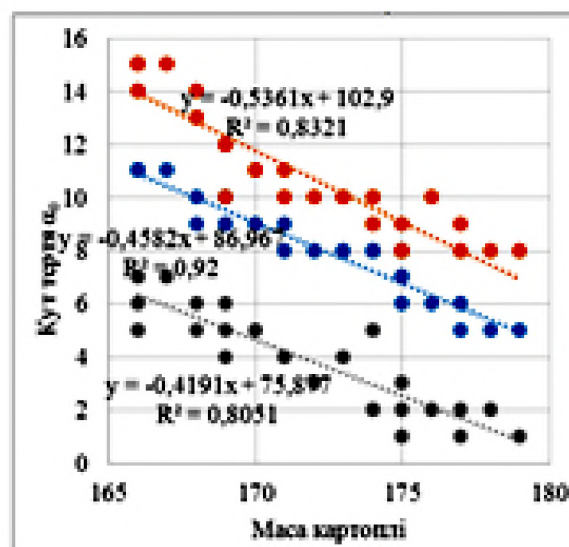
$$\varphi = (\alpha_0 - \alpha)$$

Коефіцієнт тертя кочення: для одного періоду отримаємо

$$k = \frac{R(\alpha_0 - \alpha) \operatorname{tg} \beta}{4}$$



а)



б)

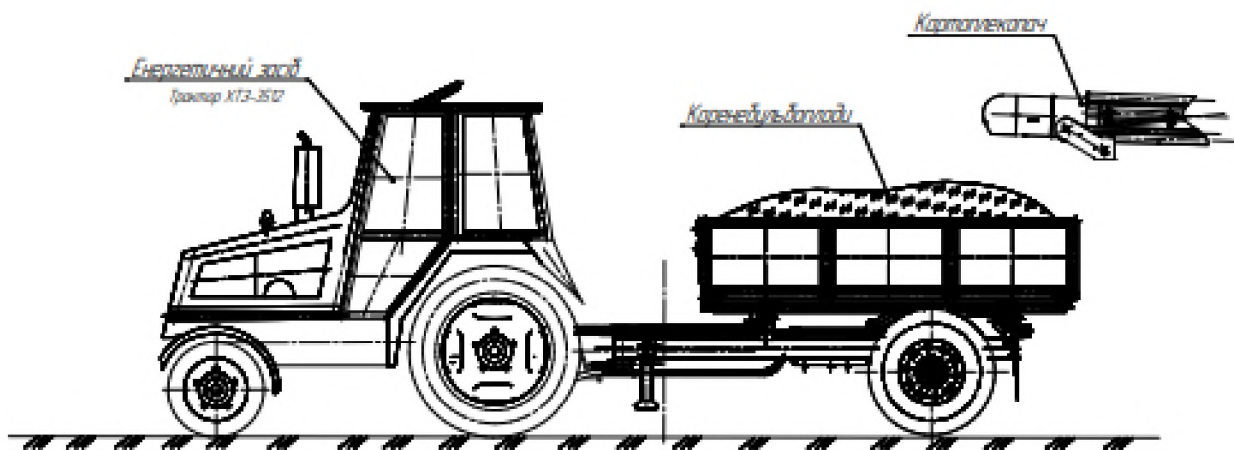
Графіки залежності кута  $\alpha_0$  від маси бульби: а – бульби без налипання ґрунту; б – бульби з налиплим вологим ґрунтом



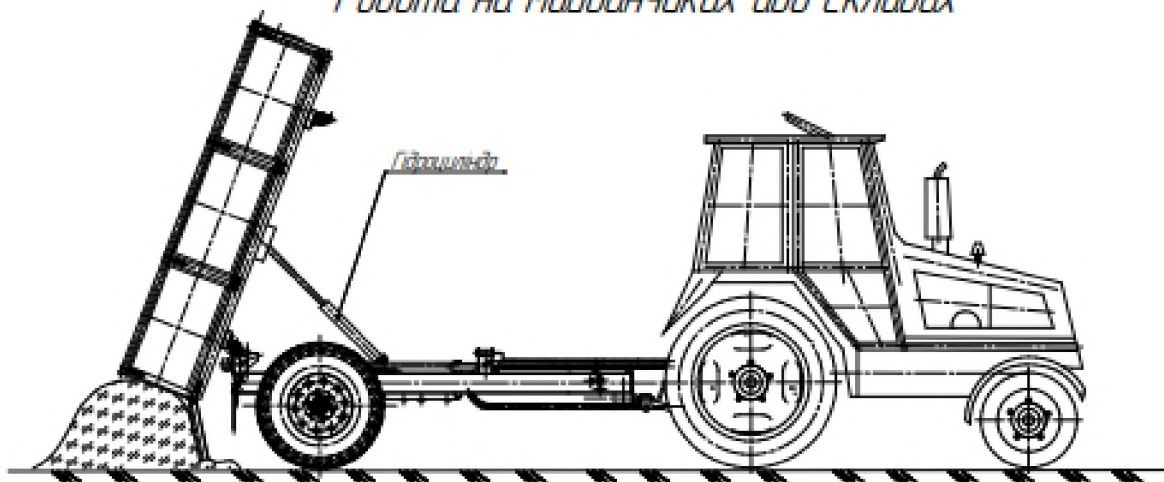
### Операції з насіннєвим матеріалом під час садіння



### Операції з бульбами під час збирання



### Робота на майданчиках або складах



		AI OH 00.00.0000	
		Схема функціональна	
		ЛНЗ, вар. АІ	
		ар. АІ-21	
		Лист 01	